

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-265082

(43)公開日 平成5年(1993)10月15日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 3 B 15/00

識別記号

B

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5(全 29 頁)

(21)出願番号 特願平4-65170

(22)出願日 平成4年(1992)3月23日

(71)出願人 000001007

キャノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 片山 達嗣

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ

ノン株式会社内

(72)発明者 須田 繁幸

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ

ノン株式会社内

(72)発明者 丹羽 雄吉

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キャ

ノン株式会社内

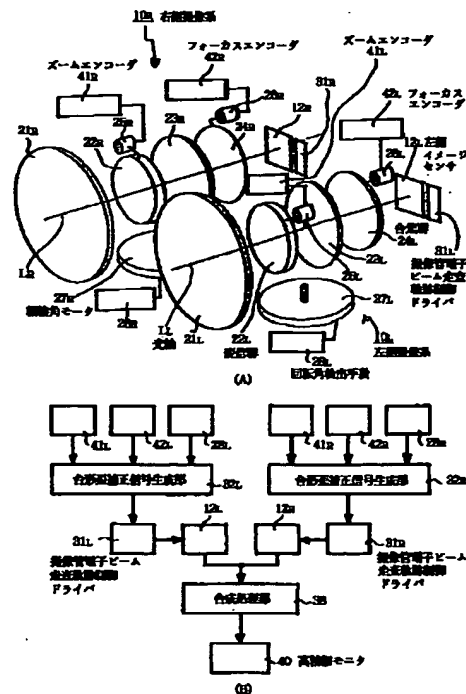
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 複眼撮像装置

(57)【要約】

【目的】 複眼撮像装置を、台形歪のない高精細な画像を得ることができるように具体的に構成する。

【構成】 複眼撮像装置は、左側撮像光学系の回転角検出手段28L、ズームエンコーダ41Lおよびフォーカスエンコーダ42Lからの各出力信号により台形歪補正信号を生成して、撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ31Lに台形歪補正信号を出力する台形歪補正信号生成部32Lと、右側撮像光学系の回転角検出手段28R、ズームエンコーダ41Rおよびフォーカスエンコーダ42Rからの各出力信号により台形歪補正信号を生成して、撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ31Rに台形歪補正信号を出力する台形歪補正信号生成部32Rを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の撮像系を用いて共通の被写体を撮像して得られる複数の画像を合成することにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置において、前記各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪を補正する台形歪補正手段を含むことを特徴とする複眼撮像装置。

【請求項2】 前記台形歪補正手段が、前記各撮像系の焦点距離、結像倍率および傾斜角を用いて、該各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪の歪量を検出して、該台形歪を補正することを特徴とする請求項1記載の複眼撮像装置。

【請求項3】 前記台形歪補正手段が、前記各撮像系の焦点距離および結像倍率を用い、該各撮像系でそれぞれ得られる画像を任意の変換変数により変換処理し、該変換処理した各画像間の差を求め、該各画像間の差が最小となる変換変数により前記台形歪を補正することを特徴とする請求項1記載の複眼撮像装置。

【請求項4】 前記台形歪補正手段が、前記各撮像系の焦点距離および結像倍率を用い、かつ、傾斜角をパラメータとして用いて、該各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪の歪量を検出し、該検出した歪量に応じて前記台形歪を補正した画像と所望の画像との画像差を求め、該画像差が最小となる前記傾斜角を求めて、前記台形歪を補正することを特徴とする請求項1記載の複眼撮像装置。

【請求項5】 複数の撮像系を用いて共通の被写体を撮像して得られる複数の画像を合成することにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置において、前記各撮像系で得られる画像のレジストレーションのずれ量を検出する検出手段と、該検出手段で検出された前記レジストレーションのずれ量が所定値以下になるよう、少なくとも機構系または画像処理系を制御する制御手段と、前記各撮像系で得られる画像を合成する画像合成手段とを含むことを特徴とする複眼撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、複眼撮像装置に関し、特に、複数の撮像系を用いて共通の被写体を撮像して得られる複数の画像を合成することにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】たとえば4000×4000画素の超高精細な画像を撮像系で撮像して超高精細モニタに表示する場合、撮像系における高密度化および高感度化が問題となる。撮像系における該問題を解決する一手法として、画素数の少ない二つの撮像系を用いて共通の被写体を撮像し、該各撮像系でそれぞれ得られる二つの画像を合成するこ

とにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置の原理が提案されている（相澤など、「超高精細画像取得のための基礎検討」, 画像電子学会予稿90-03-04, p. 23~28）。この原理に基づく複眼撮像装置は、図27に示すように、左側撮像系110_Lと右側撮像系110_Rとを用意し、左側撮像系110_Lと右側撮像系110_Rとでサンプリング点を空間位相で1/2ピッチずらして被写体101を撮像するとともに、左側撮像系110_Lで得られた左側画像I_Lと右側撮像系110_Rで得られた右側画像I_Rとをマイクロプロセッサ（以下、「CPU」と称する。）120で合成処理することにより、一つの撮像系で被写体101を撮像したときに比べて高精細な一つの出力画像I_{OUT}を得るものである。

【0003】図28は、図27に示した左側撮像系110_Lおよび右側撮像系110_Rの基本配置を説明するための説明図である。

【0004】左側撮像系110_Lは、左側撮像光学系111_Lと左側イメージセンサ112_Lとから構成されており、また、右側撮像系110_Rは、右側撮像光学系111_Rと右側イメージセンサ112_Rとから構成されている。ここで、左側撮像光学系111_Lと右側撮像光学系111_Rとは等価な仕様を有するものであり、ズームレンズからなる。また、左側イメージセンサ112_Lと右側イメージセンサ112_Rとは等価な仕様を有するものであり、サチコンなどの撮像管またはCCDなどの固体撮像素子からなる。左側撮像系110_Lと右側撮像系110_Rとは、それらの光軸L_L, L_Rが被写体面102上の点Oでほぼ交差し、かつ、被写体面102の法線O-O'に対して線対象の位置にそれぞれ設けられている。なお、各光軸L_L, L_Rと被写体面102の法線O-O'とのなす角（以下、「傾斜角」と称する。）をそれぞれθとしたときに、2θを輻輳角と定義する。

【0005】この複眼撮像装置では、被写体距離が変化した場合には、たとえば図28図示×印を中心として左側撮像系110_Lおよび右側撮像系110_Rをそれぞれ回転させて被写体距離の変化に応じて輻輳角2θを変えることにより、撮像が行われる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の複眼撮像装置では、図27に示したような原理と該原理を確認する原理実験の結果のみが示されているだけであり、複眼撮像装置としての具体的な構成は示されておらず、前記原理を利用した具体的な複眼撮像装置を如何に構成するかという問題が残されている。また、左側撮像系110_Lの光軸L_Lおよび右側撮像系110_Rの光軸L_Rが被写体面102に対して傾斜しているため、左側イメージセンサ112_Lで得られる左側画像I_Lおよび右側イメージセンサ112_Rで得られる右側画像I_Rには、図29に示すような台形状の歪（以下、「台形歪」と称する。）がそれぞれ発生する。その結果、左側画像I_Lおよび右側画像I_Rをそのまま合成処理しただけでは、高

精細な画像を得ることができないという問題がある。

【0007】本発明の目的は、台形歪のない高精細な画像を得ることができる具体的な複眼撮像装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の複眼撮像装置は、複数の撮像系を用いて共通の被写体を撮像して得られる複数の画像を合成することにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置において、前記各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪を補正する台形歪補正手段を含む。

【0009】ここで、前記台形歪補正手段が、前記各撮像系の焦点距離、結像倍率および傾斜角を用いて、該各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪の歪量を検出して、該台形歪を補正してもよい。

【0010】また、前記台形歪補正手段が、前記各撮像系の焦点距離および結像倍率を用い、該各撮像系でそれぞれ得られる画像を任意の変換変数により変換処理し、該変換処理した各画像間の差を求め、該各画像間の差が最小となる変換変数により前記台形歪を補正してもよい。

【0011】さらに、前記台形歪補正手段が、前記各撮像系の焦点距離および結像倍率を用い、かつ、傾斜角をパラメータとして用いて、該各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪の歪量を検出し、該検出した歪量に応じて前記台形歪を補正した画像と所望の画像との画像差を求め、該画像差が最小となる前記傾斜角を求めて、前記台形歪を補正してもよい。

【0012】本発明の第2の複眼撮像装置は、複数の撮像系を用いて共通の被写体を撮像して得られる複数の画像を合成することにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置において、前記各撮像系で得られる画像のレジストレーションのずれ量を検出する検出手段と、該検出手段で検出された前記レジストレーションのずれ量が所定値以下になるよう、少なくとも機構系または画像処理系を制御する制御手段と、前記各撮像系で得られる画像を合成する画像合成手段とを含む。

【0013】

【作用】本発明の第1の複眼撮像装置は、各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪を補正する台形歪補正手段を含むことにより、各撮像系で得られる画像が台形歪を有しても、台形歪を除去して所望の画像にそれぞれ変換することができる。

【0014】本発明の第2の複眼撮像装置は、各撮像系で得られる画像のレジストレーションのずれ量を検出する検出手段と、検出手段で検出されたレジストレーションのずれ量が所定値以下になるよう、少なくとも機構系または画像処理系を制御する制御手段とを含むことにより、各撮像系で得られる画像のレジストレーションを一致させて画像合成することができる。

【0015】

【実施例】以下、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0016】図1(A)、(B)はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第1の実施例を示す概略構成図である。

【0017】本実施例の複眼撮像装置は、二つの撮像系（左側撮像系10_L および右側撮像系10_R）を用いて共通の被写体を撮像して得られる二つの画像を合成することにより高精細な一つの画像を得るものである。

【0018】左側撮像系10_L および右側撮像系10_Rの構成について、図1(A)を参照して、以下に詳細に説明する。

【0019】左側撮像系10_Lは、左側撮像光学系11_L（図4参照）と、撮像管からなる左側イメージセンサ12_Lと、左側イメージセンサ12_Lを構成する撮像管の電子ビームの走査の軌跡を制御する撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ31_Lとを含む。ここで、左側撮像光学系11_Lは、変倍群22_Lおよび合焦群24_Lを含むレンズ群21_L〜24_Lと、変倍群22_Lを駆動するための駆動系であるズームモータ25_Lと、合焦群24_Lを駆動するための駆動系であるフォーカスモータ26_Lと、光軸L_Lを含む平面内で左側撮像光学系11_Lおよび左側イメージセンサ12_Lを一体として回転させるための機構系（不図示）および駆動系（回転角モータ27_L）と、回転角モータ27_Lの回転角を検出するための回転角検出手段28_Lとを含む。なお、回転角検出手段28_Lとしては、たとえばロータリーエンコーダのような外付け部材を用いてもよいし、たとえばハルスモータのような駆動系自身で駆動方法により回転角を検出するものを用いてもよい。右側撮像系10_Rは、左側撮像系10_Lと同様に構成されている。

【0020】左側撮像光学系11_Lのフォーカスモータ26_Lおよびズームモータ25_Lが、フォーカスエンコーダ42_Lからの信号およびズームエンコーダ41_Lからの信号により別途制御されるとともに、右側撮像光学系11_Rのフォーカスモータ26_Rおよびズームモータ25_Rが、フォーカスエンコーダ42_Rからの信号およびズームエンコーダ41_Rからの信号により別途制御されることにより、左側撮像光学系11_Lの焦点距離 f と右側撮像光学系11_Rの焦点距離 f とは常に一致されており、左側撮像光学系11_Lの結像倍率 β と右側撮像光学系11_Rの結像倍率 β とは常に一致されているものとする。

【0021】このとき、図1(B)図示左側に示す台形歪補正信号生成部32_Lは、ズームエンコーダ41_Lからの信号により、左側撮像光学系11_Lの焦点距離 f を求めることができるとともに、同図図示右側に示す台形歪補正信号生成部32_Rは、ズームエンコーダ41_Rからの信号により、右側撮像光学系11_Rの焦点距離 f を求めることができる。また、台形歪補正信号生成部32

5

Lは、フォーカスエンコーダ42Lからの信号により、左側撮像光学系11Lに対する被写体距離を求めることができるため、左側撮像光学系11Lの結像倍率 β を求めることができるとともに、同様にして、台形歪補正信号生成部32Rは、フォーカスエンコーダ42Rからの信号により、右側撮像光学系11Rの結像倍率 β を求めることができる。さらに、各台形歪補正信号生成部32L、32Rは、各回転角検出手段28L、28Rからの信号により傾斜角 θ を求めることができる。

【0022】本実施例の複眼撮像装置は、図1(B)に示すように、左側撮像光学系11Lの回転角検出手段28L、ズームエンコーダ41Lおよびフォーカスエンコーダ42Lからの各出力信号により台形歪補正信号を生成して、撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ31Lに台形歪補正信号を出力する台形歪補正信号生成部32Lと、右側撮像光学系11Rの回転角検出手段28R、ズームエンコーダ41Rおよびフォーカスエンコーダ42Rからの各出力信号により台形歪補正信号を生成して、撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ31Rに台形歪補正信号を出力する台形歪補正信号生成部32Rと、左側イメージセンサ12Lから送られてくる左側画像I_Lと右側イメージセンサ12Rから送られてくる右側画像I_Rとを合成して高精細な一つの画像を作成する合成処理部38とをさらに含む。なお、合成処理部38で作成された高精細な画像は、合成処理部38から高精細モニタ40に出力されて表示される。

【0023】次に、各台形歪補正信号生成部32L、32Rにおいて台形歪を補正する原理について、図2乃至図4を参照して説明する。

【0024】左側撮像系10Lを構成する左側イメージセンサ12Lで得られる左側画像I_Lおよび右側撮像系10Rを構成する右側イメージセンサ12Rで得られる右側画像I_Rに台形歪がそれぞれ発生した場合には、図2に破線で示す所望の画像Iの図示Y軸上の点Aを基準にすると、点Aに対応する左側画像I_L上の点A_Lは、水平方向のずれ量 Δy だけ図示左側にずれ、点Aに対応する右側画像I_R上の点A_Rは、水平方向のずれ量 Δy だけ図示右側にずれる。

*

$$y_1' = S_0' \times y_0 \times \cos(\theta) / (S_0 - y_0 \times \sin(\theta)) \quad (5)$$

と表すことができる。また、像高 y_0' は、

$$y_0' = y_0 \times S_0' / S_0 \quad (6)$$

と表されるため、(3)式、(5)式および(6)式から、水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ は、

$$\Delta y_0' = \{ S_0' \times \cos(\theta) / (S_0' - y_0' \times \sin(\theta)) - 1 \} \times y_0' \quad (7)$$

$$\Delta z_0' = z_1' - z_0'$$

$$= \{ S_0' / (S_0' - y_0' \times \sin(\theta)) - 1 \} \times z_0' \quad (8)$$

と表せる。

【0029】ここで、右側撮像光学系11Rの後側主点から右側イメージセンサ12Rの像面までの距離 S_0' は、右側撮像光学系11Rの焦点距離 f および結像倍率 β

6

*【0025】また、図3に破線で示す所望の画像I上の任意の点P₀を基準にすると、点P₀に対応する右側画像I_R上の点P₁は、点P₀の座標を(y_0' , z_0')、点P₁の座標を($y_0' + \Delta y_0'$, $z_0' + \Delta z_0'$)とすると、水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ だけ図示右側にずれ、垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ だけ図示上側にずれる。しかし、このときの水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ は、右側撮像光学系11Rの焦点距離 f および結像倍率 β と右側撮像系10Rの傾斜角 θ により求めることができる。このことについて、図4を参照して以下に詳しく説明する。

【0026】図4に示すように各光軸L_L、L_Rが被写体面2の点Oで交差するように、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rで被写体面2をそれぞれ撮像しているとき、被写体面2の点Oを通り、右側イメージセンサ12Rと共役関係にある共役被写体面3を仮定する。

【0027】ここで、OP₀=OP₁を満たす被写体面2上の点P₀と共役被写体面3上の点P₁とについて考えると、右側撮像光学系11Rに対する点P₀の物高 y_0 と右側撮像光学系11Rに対する点P₁の物高 y_1 との間には、

$$y_1 = y_0 \times \cos(\theta) \quad (1)$$

の関係が成り立つ。また、点P₁から光軸L_Rに垂らした垂線と光軸L_Rとの交点Q₁および点Oの間の長さOQ₁は、

$$OQ_1 = y_0 \times \sin(\theta) \quad (2)$$

と表せる。さらに、物高 y_0 および物高 y_1 に対する右側イメージセンサ12R上の像高をそれぞれ、 y_0' および y_1' とすると、水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ は、

$$\Delta y_0' = y_1' - y_0' \quad (3)$$

と表される。右側撮像光学系11Rの前側主点から被写体面2までの距離(被写体距離)を S_0 、また、右側撮像光学系11Rの後側主点から右側イメージセンサ12Rの像面までの距離を S_0' とすると、像高 y_1' は、 $y_1' = y_1 \times S_0' / (S_0 - OQ_1)$

と表されるため、(1)式、(2)式および(4)式より、像高 y_1' は、

$$40 \times n(\theta) - 1 \} \times y_0' \quad (7)$$

と表せる。

【0028】同様にして、垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ は、

★ β を用いて、

$$S_0' = f \times (1 - \beta) \quad (9)$$

と表されるため、水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ はそれぞれ、右側撮像光学系11

7

R の焦点距離 f および結像倍率 β と右側撮像系 $10R$ の傾斜角 θ により求めることができる。左側撮像系 $10L$ についても同様である。

【0030】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0031】被写体面2が無限遠にある場合には、左側イメージセンサ $12L$ で得られる左側画像 I_L および右側イメージセンサ $12R$ で得られる右側画像 I_R には台形歪が発生しないので、左側画像 I_L および右側画像 I_R に対する台形歪補正を行うことなく、合成処理部38において左側画像 I_L および右側画像 I_R を合成処理して高精細モニタ40に出力する。

【0032】一方、被写体面2が有限距離に位置している場合には、左側撮像系 $10L$ および右側撮像系 $10R$ を各輻輳角モータ $27L$ 、 $27R$ によりそれぞれ互いに逆方向にそれぞれ傾斜させて、左側撮像系 $10L$ および右側撮像系 $10R$ が被写体面2にそれぞれ向くようにする。その後、左側撮像系 $10L$ の光軸 L_L のサンプリング点と右側撮像系 $10R$ の光軸 L_R のサンプリング点とが空間位相で $1/2$ ピッチずれるように、左側撮像系 $10L$ および右側撮像系 $10R$ の傾斜角 θ を各輻輳角モータ $27L$ 、 $27R$ でそれぞれ制御する。このとき、各輻輳角モータ $27L$ 、 $27R$ による傾斜角 θ の制御と連動させて、各ズームモータ $25L$ 、 $25R$ および各フォーカスモータ $26L$ 、 $26R$ を用いて、左側撮像光学系 $11L$ および右側撮像光学系 $11R$ の倍率設定および焦点合わせがそれぞれ行われる。

【0033】この場合には、左側撮像系 $10L$ および右側撮像系 $10R$ を傾斜角 θ だけそれぞれ傾斜させて撮像するため、左側イメージセンサ $12L$ で得られる左側画像 I_L および右側イメージセンサ $12R$ で得られる右側画像 I_R には台形歪がそれぞれ発生する。したがって、この台形歪を補正するために、左側撮像光学系 $11L$ の台形歪補正信号生成部 $32L$ は、回転角検出手段 $28L$ の出力信号およびズームエンコーダ $41L$ の出力信号から、左側イメージセンサ $12L$ で得られた左側画像 I_L の各点における水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を上記(7)式～(9)式によりそれぞれ求め、左側画像 I_L に発生している台形歪を補正する台形歪補正信号を作成して、左側撮像光学系 $11L$ の撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ $31L$ に出力する。なお、(9)式より距離 S_0' を求めたが、フォーカスエンコーダ $42L$ の出力信号より距離 S_0' を求めてもよい。右側撮像光学系 $11R$ の台形歪補正信号生成部 $32R$ も同様に動作する。

【0034】左側撮像光学系 $11L$ の撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ $31L$ は、台形歪補正信号生成部 $32L$ から送られてくる台形歪補正信号に基づいて、左側イメージセンサ $12L$ を構成する撮像管の電子ビームの走査軌跡を変えることにより、左側画像 I_L に発生し

8

ている台形歪を補正する。すなわち、左側撮像光学系 $11L$ の撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ $31L$ は、台形歪補正信号生成部 $32L$ から送られてくる台形歪補正信号に基づいて、左側イメージセンサ $12L$ を構成する撮像管の偏向回路を制御して電子ビームの走査軌跡を変えて、図5図示左側の図に示すように、左側画像 I_L を点 $A_1 \rightarrow$ 点 B_1 、点 $A_2 \rightarrow$ 点 B_2 、点 $A_3 \rightarrow$ 点 B_3 、点 $A_4 \rightarrow$ 点 B_4 に沿って走査させる。その結果、左側イメージセンサ $12L$ を構成する撮像管から出力される左側画像 I_L は、図5図示右側の図に示すように、点 $a_1 \rightarrow$ 点 b_1 、点 $a_2 \rightarrow$ 点 b_2 、点 $a_3 \rightarrow$ 点 b_3 、点 $a_4 \rightarrow$ 点 b_4 に沿って走査される所望の画像 I に変換されて合成処理部38に入力される。なお、撮像管の電子ビームの走査軌跡を制御して画像の歪を補正する技術は、たとえば3管式カラーテレビにおけるDRC (Digital Registration Correction) として一般的な技術である(昭和59年12月、NHK技研月報)。

【0035】各回転角検出手段 $28L$ 、 $28R$ の代わりに、左側撮像系 $10L$ および右側撮像系 $10R$ の相対姿勢を検出して傾斜角 θ を求める手段を用いてもよい。また、左側撮像光学系 $11L$ および右側撮像光学系 $11R$ は、ズームレンズまたは固定焦点レンズを用いて構成すればよい。

【0036】図6は、本発明の複眼撮像装置の第2の実施例における左側撮像系 $10L$ および右側撮像系 $10R$ の構成を示す図であり、図7は、各補正変換部 $52L$ 、 $52R$ の動作を説明するためのブロック図である。

【0037】本実施例の複眼撮像装置は、図1に示した第1の実施例の複眼撮像装置と以下に示す点で異なる。

(1) 左側イメージセンサ $12L$ および右側イメージセンサ $12R$ はともに、撮像管で構成されたものに限られず、固体撮像素子で構成されたものでもよい。

(2) 図1(A)に示した左側撮像系 $10L$ の撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ $31L$ および右側撮像系 $10R$ の撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ $31R$ を有しない。

(3) 図7に示すように、左側イメージセンサ $12L$ から出力される左側画像 I_L の左側画像データが格納される左側画像メモリ $51L$ と、右側イメージセンサ $12R$ から出力される右側画像 I_R の右側画像データが格納される右側画像メモリ $51R$ とを有する。

(4) 左側画像メモリ $51L$ と合成処理部38との間に、後述する補正変換部 $52L$ を有し、また、右側画像メモリ $51R$ と合成処理部38との間に、後述する補正変換部 $52R$ を有する。

【0038】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0039】被写体面2が無限遠にある場合には、左側イメージセンサ $12L$ で得られる左側画像 I_L および右

側イメージセンサ12Rで得られる右側画像IRには台形歪が発生しないので、左側画像ILおよび右側画像IRに対する台形歪補正を行うことなく、左側画像メモリ51Lに格納された左側画像ILの左側画像データと右側画像メモリ51Rに格納された右側画像IRの左側画像データとをそのまま合成処理部38にそれぞれ送り、合成処理部38において左側画像ILおよび右側画像IRを合成処理して高精細モニタ40に出力する。

【0040】一方、被写体面2が有限距離に位置している場合には、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rを各輻輳角モータ27L、27Rによりそれぞれ互いに逆方向にそれぞれ傾斜させて、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rが被写体面2にそれぞれ向くようにする。その後、左側撮像系10Lの光軸LLのサンプリング点と右側撮像系10Rの光軸LRのサンプリング点とが空間位相で1/2ピッチずれるように、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rの傾斜角 θ を各輻輳角モータ27L、27Rでそれぞれ制御する。このとき、各輻輳角モータ27L、27Rにおける傾斜角 θ の制御と連動させて、各フォーカスモータ26L、26Rによる左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rの倍率設定および焦点合わせをそれぞれ行う。

【0041】この場合には、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rを傾斜角 θ だけそれぞれ傾斜させて撮像するため、左側イメージセンサ12Lで得られる左側画像ILおよび右側イメージセンサ12Rで得られる右側画像IRには台形歪がそれぞれ発生する。したがって、この台形歪を補正するために、図7に示すように、左側撮像光学系11Lの台形歪補正信号生成部32Lは、回転角検出手段28Lの出力信号およびズームエンコーダ41Lの出力信号から、左側イメージセンサ12Lで得られた左側画像ILの各点における水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を上記(7)式～(9)式によりそれぞれ求め、左側画像ILに発生している台形歪を補正する台形歪補正信号を作成して、各補正変換部52L、52Rに出力する。補正変換部52Lは、台形歪補正信号生成部32Lから送られてくる台形歪補正信号に基づいて、水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を打ち消すように、左側画像メモリ51Lから読み出した左側画像ILの左側画像データの座標を変換することにより、左側画像ILに発生している台形歪の補正を行う。なお、(9)式より距離 S_0' を求めたが、フォーカスエンコーダ42Lの出力信号より距離 S_0' を求めてもよい。右側撮像光学系11Rの台形歪補正信号生成部32Rおよび補正変換部52Rも同様に動作する。

【0042】その結果、合成処理部38で、各補正変換部52L、52Rからそれぞれ送られてくる、台形歪が補正された左側画像ILの左側画像データおよび台形歪が補正された右側画像IRの右側画像データを合成するこ

とにより、高精細な一つの合成画像を高精細モニタ40に表示させることができる。

【0043】本実施例の複眼撮像装置では、補正変換部52Lの出力信号は合成処理部38に送られたが、左側画像メモリ51Lに再度格納したのち、左側画像メモリ51Lから合成処理部38に送ってもよい。他の補正変換部52Rの出力信号についても同様である。

【0044】図8は、本発明の複眼撮像装置の第3の実施例における左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rの構成を示す図であり、図9は、各補正光学系61L、61Rの動作を説明するためのブロック図である。

【0045】本実施例の複眼撮像装置は、後述する各補正光学系61L、61Rを構成するレンズを各光軸LL、LRに対して上下方向にそれぞれ偏心させて歪曲収差を発生させることにより、左側イメージセンサ12Lで得られる左側画像ILに発生する台形歪および右側イメージセンサ12Rで得られる右側画像IRに発生する台形歪をそれぞれ補正するものである。すなわち、本実施例の複眼撮像装置は、各補正変換部52L、52Rの代わりに、左側撮像光学系11Lと左側イメージセンサ12Lとの間に設けられた補正光学系61Lと、右側撮像光学系11Rと右側イメージセンサ12Rとの間に設けられた補正光学系61Rとを有する点について、図6および図7に示した第2の実施例の複眼撮像装置と異なる。

【0046】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0047】被写体面2が無限遠にある場合には、左側イメージセンサ12Lで得られる左側画像ILおよび右側イメージセンサ12Rで得られる右側画像IRには台形歪が発生しないので、左側画像ILおよび右側画像IRに対する台形歪補正を行うことなく、合成処理部38において左側画像ILおよび右側画像IRを合成処理して高精細モニタ40に出力する。

【0048】一方、被写体面2が有限距離に位置している場合には、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rを各輻輳角モータ27L、27Rによりそれぞれ互いに逆方向にそれぞれ傾斜させて、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rが被写体面2にそれぞれ向くようにする。その後、左側撮像系10Lの光軸LLのサンプリング点と右側撮像系10Rの光軸LRのサンプリング点とが空間位相で1/2ピッチずれるように、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rの傾斜角 θ を各輻輳角モータ27L、27Rでそれぞれ制御する。このとき、各輻輳角モータ27L、27Rによる傾斜角 θ の制御と連動させて、各フォーカスモータ26L、26Rによる左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rの倍率設定および焦点合わせをそれぞれ行う。

【0049】この場合には、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rを傾斜角 θ だけそれぞれ傾斜させて撮像するため、左側イメージセンサ12Lで得られる左側画

11

像 I_L および右側イメージセンサ12Rで得られる右側画像 I_R には台形歪がそれぞれ発生する。したがって、この台形歪を補正するために、図9に示すように、左側撮像光学系11Lの台形歪補正信号生成部32Lは、回転角検出手段28Lの出力信号およびズームエンコーダ41Lの出力信号から、左側イメージセンサ12Lで得られた左側画像 I_L の各点における水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を上記(7)式～(9)式によりそれぞれ求め、左側画像 I_L に発生している台形歪を補正する台形歪補正信号を作成して、各左側撮像光学系11Lの補正光学系61Lに出力する。左側撮像光学系11Lの補正光学系61Lは、台形歪補正信号生成部32Lから送られてくる台形歪補正信号に基づいて、補正光学系61Lを構成するレンズを光軸 L_L に対して上下方向に偏心させて歪曲収差を発生させることにより、左側画像 I_L に発生している台形歪を補正する。なお、(9)式より距離 S_0' を求めたが、フォーカスエンコーダ42Lの出力信号より距離 S_0' を求めてもよい。右側撮像光学系11Rの台形歪補正信号生成部32Rおよび補正光学系61Rも同様に動作する。

【0050】次に、この台形歪の補正の原理について、*

$$d = -(E/2) \times (\tan(\omega))^2 \times (3 \times V_{E1} - V_{E2}) \quad (11)$$

ただし、

$\tan(\omega) = H/f$ (f = 右側撮像光学系11Rの焦点距離)

$$V_{E1} = (h \times \phi \times V_q - a \times V_p) - (h \times \phi \times B_q - a \times B_p) \quad (12)$$

$$V_{E2} = h \times \phi \times P_q - a \times P_p \quad (13)$$

ただし、

ϕ = 補正光学系61Rの屈折力

V_p = 凸レンズ63Rの3次の歪曲

B_p = 凸レンズ63Rの非点収差係数

P_p = 凸レンズ63Rのベッツパール和

V_q = 凹レンズ62Rの被写体面2側の3次の歪曲

B_q = 凹レンズ62Rの被写体面2側の非点収差係数

P_q = 凹レンズ62Rの被写体面2側のベッツパール和

h = 近軸物体光線の補正光学系61Rへの入射位置

a = 近軸物体光線の補正光学系61Rへの入射角

と表される。補正光学系61Rを偏心させたときの歪曲収差は上記のような手順で計算されるため、図12に示すような台形歪補正は、 $\beta_H/\beta - 1$ と偏心歪曲収差 d の符号とが逆になるように補正光学系61Rを偏心させればよく、

$$d = -\beta_H/\beta + 1 \quad (14)$$

とすれば3次までの領域で台形歪を補正することができる。なお、補正光学系61Rの平行偏心量 E は、(10)式～(14)式より求めることができる。

【0053】以上のようにして台形歪が補正された右側イメージセンサ12Rで得られた右側画像 I_R と、同様にして台形歪が補正された左側イメージセンサ12Lで得られた左側画像 I_L とを合成処理部39で合成するこ★50

12

*図10を参照して説明する。

【0051】被写体面2は光軸 L_R に対して傾斜角 θ だけ傾斜しており、その像は右側イメージセンサ12R上に結ばれる。ここで、被写体面2から右側撮像光学系11Rまでの距離を S_1 とし、右側撮像光学系11Rから右側イメージセンサ12Rの像面までの距離を S_1' とし、被写体面2の点Oを光軸 L_R と被写体面2との交点とすると、被写体面2の高さ H での結像倍率 β_H は、近軸の計算より、

$$\beta_H = S_1' / (S_1 + H \times \sin(\theta))$$

$$= \beta \times \{S_1 / (S_1 + H \times \sin(\theta))\} \quad (10)$$

ただし、

β = 被写体面2の点Oでの結像倍率と表される。

【0052】右側撮像光学系11Rと右側イメージセンサ12Rとの間に設けられた補正光学系61R(凹レンズ62Rと凸レンズ63Rとからなる。)の凹レンズ62Rを、図11に示すように、図示上下方向に距離 E だけずらして平行偏心させたときに発生する偏心歪曲収差 d は、3次の項まで考慮すると、

※で表わされる。なお、(11)式に含まれる V_{E1} および V_{E2} はそれぞれ、補正光学系61Rの平行偏心歪曲係数であり、

★とにより、高精細な一つの画像を高精細モニタ40に表示することができる(図9参照)。

30 【0054】図13(A)、(B)はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第4の実施例を示す図である。

【0055】本実施例の複眼撮像装置は、二つの撮像系(左側撮像系10Lおよび右側撮像系10R)を用いて共通の被写体を撮像して得られる二つの画像を合成することにより高精細な一つの画像を得るものである。

【0056】左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rの構成について、図13(A)を参照して、以下に詳細に説明する。

【0057】左側撮像系10Lは、左側撮像光学系11Lを構成する、変倍群22Lおよび合焦群24Lを含むレンズ群21L～24Lと、変倍群22Lを駆動するための駆動系であるズームモータ25Lと、合焦群24Lを駆動するための駆動系であるフォーカスモータ26Lと、光軸 L_L を含む平面内で左側撮像光学系11Lおよび左側イメージセンサ12Lを一体として回転させるための機構系(不図示)および駆動系(輻輳角モータ27L)と、輻輳角モータ27Lの回転角を検出するための回転角検出手段28Lを含む。なお、回転角検出手段28Lとしては、たとえばロータリーエンコーダのような外付け部材を用いてもよいし、たとえばパルスモータ

のような駆動系自身で駆動方法により回転角を検出するものを用いてもよい。右側撮像系10Rは、左側撮像系10Lと同様に構成されている。

【0058】左側撮像光学系11Lのフォーカスモータ26Lおよびズームモータ25Lが、フォーカスエンコーダ42Lからの信号およびズームエンコーダ41Lからの信号により別途制御されるとともに、右側撮像光学系11Rのフォーカスモータ26Rおよびズームモータ25Rが、フォーカスエンコーダ42Rからの信号およびズームエンコーダ41Rからの信号により別途制御されることにより、左側撮像光学系11Lの焦点距離 f と右側撮像光学系11Rの焦点距離 f とは常に一致されており、左側撮像光学系11Lの結像倍率 β と右側撮像光学系11Rの結像倍率 β とは常に一致されているものとする。

【0059】このとき、図13(B)に示す演算制御部71は、ズームエンコーダ41Lからの信号により、左側撮像光学系11Lの焦点距離 f を求めることができるとともに、ズームエンコーダ41Rからの信号により、右側撮像光学系11Rの焦点距離 f を求めることができる。また、演算制御部71は、フォーカスエンコーダ42Lからの信号により、左側撮像光学系11Lに対する被写体距離を求めることができるため、左側撮像光学系11Lの結像倍率 β を求めることができるとともに、同様にして、フォーカスエンコーダ42Rからの信号により、右側撮像光学系11Rの結像倍率 β を求めることができる。さらに、演算制御部71は、各回転角検出手段28L、28Rからの信号により傾斜角 θ を求めることもできる。各ズームエンコーダ41L、41Rおよび各フォーカスエンコーダ42L、42Rの出力信号はそれぞれ、

$$S_0' = f \times (1 - \beta) \quad (9)$$

より、左側撮像光学系11Lの後側主点から左側イメージセンサ12Lの像面までの距離 S_0' および右側撮像光学系11Rの後側主点から右側イメージセンサ12Rの像面までの距離 S_0' をそれぞれ求める。

【0060】左側イメージセンサ12Lから出力される左側画像 I_L の左側画像データは左側画像メモリ72Lに格納され、右側イメージセンサ12Rから出力される右側画像 I_R の右側画像データは右側画像メモリ72Rに格納される。

【0061】次に、図13(B)に示す台形歪変換部73、第2の左側画像メモリ74L、第2の右側画像メモリ74Rおよび減算処理回路75により、左側画像 I_L および右側画像 I_R に発生する台形歪を補正する原理について、図14および図15を参照して説明する。なお、簡単のため、左側画像 I_L に発生する台形歪を補正する原理についてのみ詳しく説明する。

【0062】台形歪変換部73は、左側画像メモリ72Lから読み出した左側画像データ、右側画像メモリ72Rから読み出した右側画像データおよび演算制御部71から送られてくる前記距離 S_0' を用い、前述した

(7)式および(8)式から予め定めた数個の像点における水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を求める。このとき、傾斜角 θ を変換変数(角度を検知することはしない)として、たとえば $\theta = \theta_1$ (θ_1 は任意)を代入して水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を算出する。その後、台形歪変換部73は、求めた水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ だけ左側画像メモリ72Lおよび右側画像メモリ72Rの前記各像点の座標をシフトさせて、シフト後の左側画像データおよび右側画像データを第2の左側画像メモリ74Lおよび第2の右側画像メモリ74Rにそれぞれ書き込む。その後、減算処理回路75は、座標がシフトされた左側画像データおよび右側画像データを第2の左側画像メモリ74Lおよび第2の右側画像メモリ74Rからそれぞれ読み出し、両者の差の絶対値の和(以下、「画像差」と称する。) δs_1 を求める。続いて、台形歪変換部73は、傾斜角 θ (変換変数)をたとえば $\theta = \theta_2$ として、同様にして、画像差 δs_2 を求める。

【0063】以上の動作を繰り返すことにより、傾斜角 θ (変換変数)と画像差 δs との関係が、たとえば図15に示すように求められるため、画像差 δs が最小値となる傾斜角 θ_0 (変換変数)が求まる。台形歪変換部73は、画像差 δs が最小値となる傾斜角 θ_0 (変換変数)を用いて(7)式および(8)式より左側画像データの全像点における水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ を求めたのち、求めた水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ だけ左側画像データの全像点の座標をシフトさせ、シフト後の左側画像データを第2の左側画像メモリ74Lに書き込む。その結果、第2の左側画像メモリ74Lには、台形歪が補正された左側画像データが書き込まれる。

【0064】したがって、第2の左側画像メモリ74Lに書き込まれた、台形歪が補正された左側画像データと、第2の右側画像メモリ74Rに書き込まれた、台形歪が補正された右側画像データとを、合成処理部(不図示)で合成することにより、高精細な一つの画像を高精細モニタ(不図示)に表示することができる。

【0065】図16(A)、(B)はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第5の実施例を示す概略構成図である。

【0066】本実施例の複眼撮像装置は、左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rがともに撮像管で構成されたものであり、台形歪変換部73が、求めた水平方向のずれ量 $\Delta y_0'$ および垂直方向のずれ量 $\Delta z_0'$ に応じて、各撮像管電子ビーム走査軌跡ドラ

10

20

30

40

50

イバ31L, 31Rを制御する点が、図13に示した第4の実施例の複眼撮像装置と異なる。

【0067】なお、本実施例の複眼撮像装置における各撮像管電子ビーム走査軌跡ドライバ31L, 31Rの動作および台形歪を補正する原理については、図1に示した第1の実施例の複眼撮像装置および図13に示した第4の実施例の複眼撮像装置の説明より、ここで説明するまでもないであろう。

【0068】図17(A)～(C)はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第6の実施例を示す図であり、図18は、本発明の複眼撮像装置の第6の実施例における撮像系の基本配置を説明するための説明図である。

【0069】本実施例の複眼撮像装置は、二組の撮像系（左側撮像系10Lおよび右側撮像系10R）を用いて共通の被写体を撮像して得られる二つの画像を合成することにより高精細な一つの画像を得るものである。

【0070】左側撮像系10Lは、図18に示すように、左側撮像光学系11Lと左側イメージセンサ12Lとから構成されており、また、右側撮像系10Rは、右側撮像光学系11Rと右側イメージセンサ12Rとから構成されている。ここで、左側撮像光学系11Lと右側撮像光学系11Rとは等価な仕様を有するものであり、ズームレンズからなる。また、左側イメージセンサ12Lと右側イメージセンサ12Rとは等価な仕様を有するものであり、サチコンなどの撮像管またはCCDなどの固体撮像素子からなる。左側撮像系10Lと右側撮像系10Rとは、それらの光軸L_L, L_Rが被写体面2上の点Oではば交差し、かつ、被写体面2の法線O-O'に対して線対象の位置にそれぞれ設けられている。なお、各光軸L_L, L_Rと被写体面2の法線O-O'とのなす角をそれぞれ θ としたときに、 2θ を輻輳角と定義する。

【0071】この複眼撮像装置では、被写体距離が変化した場合には、たとえば図18図示×印を中心として左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rをそれぞれ回転させて被写体距離の変化に応じて輻輳角 2θ を変えることにより、撮像が行われる。

【0072】次に、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rの構成について、図17(A)を参照して詳細に説明する。

【0073】左側撮像系10Lは、左側撮像光学系11Lを構成する、変倍群22Lおよび合焦群24Lを含むレンズ群21L～24Lと、変倍群22Lを駆動するための駆動系であるズームモータ25Lと、合焦群24Lを駆動するための駆動系であるフォーカスモータ26Lと、光軸L_Lを含む平面内で左側撮像光学系11Lおよび*

*び左側イメージセンサ12Lを一体として回転させるための機構系（不図示）および駆動系（輻輳角モータ27L）と、輻輳角モータ27Lの回転角を検出するための回転角検出手段28Lとを含む。なお、回転角検出手段28Lとしては、たとえばロータリーエンコーダのような外付け部材を用いてもよいし、たとえばパルスモータのような駆動系自身で駆動方法により回転角を検出するものを用いてもよい。右側撮像系10Rは、左側撮像系10Lと同様に構成されている。

10 【0074】次に、各輻輳角モータ27L, 27Rの制御方法について、図17(B)を用いて説明する。

【0075】左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rがそれぞれ、所定の輻輳角 2θ （図18参照）に対して角度偏差 $\Delta\theta_L$, $\Delta\theta_R$ をもった輻輳角 $2\theta + \Delta\theta_L$, $2\theta + \Delta\theta_R$ で撮像している場合には、左側撮像系10Lの光軸L_Lと被写体面2の法線O-O'とのなす角 θ （図18参照）に対する角度偏差 $\Delta\theta_L$ が回転角検出手段28Lにより検出され、また、右側撮像系10Rの光軸L_Rと被写体面2の法線O-O'とのなす角 θ に対する角度偏差 $\Delta\theta_R$ が回転角検出手段28Rにより検出される。各回転角検出手段28L, 28Rにより検出された各角度偏差 $\Delta\theta_L$, $\Delta\theta_R$ は制御部231にそれぞれ送られる。

【0076】ここで、各輻輳角モータ27L, 27Rは、以下に示すような応答特性を有するものとする。

【0077】簡単のため、図19に示すように、右側撮像系10Rの光軸L_Rが角度偏差 $\Delta\theta_R$ だけずれたときに生じる右側撮像系10Rから出力される画像のレジストレーションのずれ量 Δa について考える。右側撮像光学系11Rの前側主点から被写体面2までの距離（被写体距離）を S_0 、右側撮像光学系11Rの後側主点から右側イメージセンサ12Rまでの距離を S_1 および被写体面2内における右側撮像系10Rの光軸L_Rのずれ量を Δy とすると、角度偏差 $\Delta\theta_R$ が微小である場合には、

$$S_0 \times \tan(\Delta\theta_R) = \Delta y \times \cos(\theta) \quad (15)$$

が成り立つ。また、右側撮像光学系11Rの結像倍率を β とすると、

$$\beta = \Delta a / \Delta y \quad (16)$$

が成り立つ。さらに、右側撮像光学系11Rの焦点距離を f とすると、

$$S_0 = f \times (\beta - 1) / \beta \quad (17)$$

が成り立つ。(15)式～(17)式より、前記画像のレジストレーションのずれ量 Δa は、

$$\Delta a = \{f \times (\beta - 1) \times \tan(\Delta\theta_R)\} / \cos(\theta) \quad (18)$$

で表される。したがって、図17(A)に示した輻輳角モータ27Rは、(18)式で表される前記画像のレジストレーションのずれ量 Δa を許容値 Δa_0 以下に補正するために必要な角度($\Delta\theta_R$)に対して充分な応答特※50

※性を有するものとする。左側撮像光学系11Lの輻輳角モータ27Lについても同様である。

【0078】制御部231は、図17(B)に示すように、左側撮像系10Lの輻輳角モータ27Lに補正信号

17

$-\Delta\theta_L$ を制御目標値として与え、また、右側撮像系10Rの輻輳角モータ27Rに補正信号 $-\Delta\theta_R$ を制御目標値として与える。その結果、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rで得られる画像のレジストレーションのずれ量 Δa を許容値 Δa_0 以下にそれぞれ補正することができる。

【0079】以上のようにして各画像のレジストレーションのずれ量が補正されると、図17(C)に示すように、左側イメージセンサ12Lから出力される画像信号は左側画像メモリ232Lに格納され、右側イメージセンサ12Rから出力される画像信号は右側画像メモリ232Rに格納されたのち、合成処理回路233で合成されて合成画像信号として出力される。

【0080】したがって、本実施例の複眼撮像装置は、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rで得られる画像のレジストレーションを一致させて画像合成することができるため、左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rのサンプリング点を仮想的に被写体上に投影した際に左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rの相対的な空間位相が1/2ピッチずれるように、たとえば輻輳角の制御設定を予め設定しておくことにより、高精細な一つの画像を合成処理回路233で得ることができる。

【0081】本実施例の複眼撮像装置では、左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rとして固体撮像素子を用いる場合には、単板式のものでも色分解系を介した二板式あるいは三板式のものでもよい。また、左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rとして撮像管を用いる場合には、単管式のものでも色分解系を介した二管式あるいは三管式のものでもよい。また、制御部231は、各輻輳角モータ27L、27Rに補正信号 $-\Delta\theta_L$ 、 $-\Delta\theta_R$ を制御目標値としてそれぞれ与える代わりに、補正信号 $(\Delta\theta_L + \Delta\theta_R)$ を制御目標値として2つの輻輳角モータ27L、27Rのいずれか一方にのみ与えてもよい。

【0082】図20(A)、(B)はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第7の実施例を示す図である。

【0083】図17に示した第6の実施例の複眼撮像装置では、上記(18)式から分かるように、左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rの焦点距離 f が長い場合または画像のレジストレーションのずれ量の許容値 Δa_0 が小さい場合には、制御部231から出力する補正信号 $-\Delta\theta_L$ 、 $-\Delta\theta_R$ も小さな値(たとえば、数秒オーダー)となり、各輻輳角モータ27L、27Rの不感帯などの影響により、補正するために必要な角度応答性能を得ることが困難となる。

【0084】図20に示した第7の実施例の複眼撮像装置は、(18)式で表される画像のレジストレーションのずれ量 Δa を演算により求め、各輻輳角モータ27L、27R以外の手段で補正することにより、上記問題

18

を解決するものの一つであり、以下に示す点で、図17に示した第6の実施例の複眼撮像装置と異なる。

(1) 左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rの焦点距離 f を検出するための各ズームエンコーダ41L、41Rが、各ズームモータ25L、25Rにそれぞれ設けられている。

(2) 左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rに対する被写体距離 S_0 を検出するための各フォーカスエンコーダ42L、42Rが、各フォーカスモータ26L、26Rにそれぞれ設けられている。

(3) 左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rをそれぞれ水平方向に駆動するための各水平方向駆動系243L、243Rを含む。

(4) 後述する演算制御部244(図20(B)参照)を含む。

【0085】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0086】左側撮像光学系11Lは、ズームモータ25Lがズームエンコーダ41Lからの信号により制御されるとともに、フォーカスモータ26Lがフォーカスエンコーダ42Lからの出力信号により制御されることにより、焦点距離 f と結像倍率 β とは常に一致されている。右側撮像光学系11Rについても、同様にして、焦点距離 f と結像倍率 β とは常に一致されている。

【0087】したがって、各ズームエンコーダ41L、41Rの出力信号より左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rの焦点距離 f と結像倍率 β とがそれぞれ求められ、また、各フォーカスエンコーダ42L、42Rの出力信号より左側撮像光学系11Lおよび右側撮像光学系11Rに対する被写体距離 S_0 がそれぞれ求められるため、各ズームエンコーダ41L、41Rおよび各フォーカスエンコーダ42L、42Rの出力信号を演算制御部244にそれぞれ入力して、演算制御部244で上記(18)式の演算を行うことにより、各画像のレジストレーションのずれ量 Δa_0 が求まる。したがって、演算制御部244により各水平方向駆動系243L、243Rをそれぞれ制御して、求めた各画像のレジストレーションのずれ量 Δa_0 に応じて左側イメージセンサ12Lおよび右側イメージセンサ12Rをそれぞれ水平方向に移動させることにより、左側撮像系10Lおよび右側撮像系10Rで得られる画像のレジストレーションのずれ量 Δa を許容値 Δa_0 以下にそれぞれ補正することができる。

【0088】各ズームエンコーダ41L、41Rおよび各フォーカスエンコーダ42L、42Rとしては、たとえばポテンシオメータのような外付け部材を用いてもよいし、または、たとえばバルスモータのような駆動系自身で駆動方法によりレンズの光軸方向の位置情報を得るものを用いてもよい。また、各水平方向駆動系243L、243Rとしては、たとえばピエゾ素子や圧電バイモル

19

フなどからなるものを用いることができる。

【0089】なお、輻輳角を駆動する機構系（不図示）の精度不足などの要因により、垂直方向の揺動も発生する場合には、左側撮像系10_L および右側撮像系10_Rの垂直方向の傾き角（仰角） $\Delta\phi_1$ をそれぞれ検出する各エンコーダなどと、左側イメージセンサ12_L および右側イメージセンサ12_R をそれぞれ垂直方向に移動させる各垂直方向駆動系とを別途設け、各検出した垂直方向の傾き角 $\Delta\phi_1$ に応じて左側イメージセンサ12_L および右側イメージセンサ12_R をそれぞれ垂直方向に移動させることにより、同様にして、左側撮像系10_L および右側撮像系10_R で得られる画像の垂直方向のレジストレーションのずれ量 Δb を許容値 Δb_0 以下にそれぞれ補正することができる。このとき、画像の垂直方向のレジストレーションのずれ量 Δb は、上記（18）式と同様にして、次式より求めることができる。

【0090】

$$\Delta b = f \times (\beta - 1) \times \tan(\Delta\phi_1) \quad (19)$$

また、以下に示す理由により、各画像の垂直方向のレジストレーションのずれ量 Δb の補正は、図17に示した第6の実施例の複眼撮像装置における各輻輳角モータ27_L、27_Rによる粗調と、本実施例の複眼撮像装置における各水平方向駆動系243_L、243_Rによる微調とを組み合わせてもよい。

（1）左側撮像光学系11_L および右側撮像光学系11_Rの収差補正しなければならない領域をあまり増加させないためである。

（2）各水平方向駆動系243_L、243_Rの負荷を増加させないためである。

【0091】図21（A）、（B）はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第8の実施例を示す図である。

【0092】本実施例の複眼撮像装置は、左側イメージセンサ12_L および右側イメージセンサ12_Rとして撮像管をそれぞれ用いたものであり、各水平方向駆動系243_L、243_Rの代わりに各撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ251_L、251_Rをそれぞれ用いている点で、図20に示した第7の実施例の複眼撮像装置と異なる。

【0093】すなわち、本実施例の複眼撮像装置では、撮像管は電子ビームを走査して映像信号を読み出すため、上記（18）式より求まる画像のレジストレーションのずれ量 Δa に応じて各撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ251_L、251_Rにより撮像管の電子ビームの走査軌跡を制御することにより、左側イメージセンサ12_L および右側イメージセンサ12_R から出力される映像信号の画像のレジストレーションを一致させる。なお、撮像管の電子ビームの走査軌跡を制御して画像のレジストレーションを一致させる技術は、たとえば3管式カラーテレビにおけるDRC（Digital Registration Correction）として一

20

般的な技術である（昭和59年12月、NHK技研月報）。

【0094】図22（A）、（B）はそれぞれ、本発明の複眼撮像装置の第9の実施例を示す図である。

【0095】本実施例の複眼撮像装置は、左側イメージセンサ12_L および右側イメージセンサ12_Rとして固体撮像素子をそれぞれ用い、かつ、図20に示した各水平方向駆動系243_L、243_Rを用いずに、左側撮像系10_L および右側撮像系10_Rで得られる画像のレジストレーションのずれ量 Δa を許容値 Δa_0 以下にそれぞれ補正するものであり、以下に示す点で、図20に示した第7の実施例の複眼撮像装置と異なる。

（1）各水平方向駆動系243_L、243_Rを含まない。

（2）左側画像メモリ232_Lと合成処理回路233との間に、補正変換部261と第2の左側画像メモリ262を含む（図22（B）参照）。

【0096】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0097】演算制御部244は、各回転角検出手段28_L、28_Rと各ズームエンコーダ41_L、41_Rと各フォーカスエンコーダ42_L、42_Rとの出力信号をそれぞれ取込み、画像のレジストレーションのずれ量 Δa を（18）式および（19）式より求める。補正変換部261は、演算制御部244により求められた画像のレジストレーションのずれ量 Δa に応じて、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データの座標を変換し、変換後の画像データを第2の左側画像メモリ262に書込む。その結果、合成処理回路233で、第2の左側画像メモリ262と右側画像メモリ232_Rとからそれぞれ出力される画像データを合成することにより、高精細な合成画像信号を得ることができる。

【0098】なお、補正変換部261と第2の左側画像メモリ262との代わりに、右側画像メモリ232_Rと合成処理回路233との間に、補正変換部261と第2の右側画像メモリとを設けてもよい。また、左側画像メモリ232_Lと第2の左側画像メモリ262とを兼用させてもよい。さらに、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データの座標を変換する際に、画像データの補間演算処理を必要に応じて行ってもよい。

【0099】以上説明した本発明の複眼撮像装置の第6乃至第9の実施例では、各回転角検出手段28_L、28_Rと各ズームエンコーダ41_L、41_Rと各フォーカスエンコーダ42_L、42_Rとの出力信号から画像のレジストレーションのずれ量 Δa を求めたが、左側撮像系10_L および右側撮像系10_Rからそれぞれ出力される画像信号から画像のレジストレーションのずれ量 Δa を求めることもできる。以下、このような本発明の複眼撮像装置の各実施例について説明する。

【0100】図23は、本発明の複眼撮像装置の第10の実施例を示す、関連演算処理部の動作を説明するため

のブロック図である。

【0101】本実施例の複眼撮像装置は、以下に示す点で、図22に示した第9の実施例の複眼撮像装置と異なる。

(1) 第2の左側画像メモリ262から出力される画像データと右側画像メモリ232_Rから出力される画像データとの相関演算を行って相関値 δs を求め、相関値 δs が所定値以上である場合には、相関値 δs が所定値以下となるように新たなシフト量 X を演算して補正変換部261に出力する相関演算処理部271を含む。

(2) 補正変換部261が、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データを第2の左側画像メモリ262に書込む際に、該画像データの座標を水平方向および垂直方向に相関演算処理部271から送られてくるシフト量 X だけシフトさせる。

【0102】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0103】補正変換部261は、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データの座標を水平方向および垂直方向に所定のシフト量 X （たとえば、水平方向および垂直方向にそれぞれ一画素）だけシフトさせて、該画像データを第2の左側画像メモリ262に書込む。相関演算処理部271は、第2の左側画像メモリ262から出力される画像データと右側画像メモリ232_Rから出力される画像データと相関演算を行って相関値 δs を求め、相関値 δs が所定値以上である場合には、相関値 δs が所定値以下となるように新たなシフト量 X を演算して補正変換部261に出力する。補正変換部261は、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データの座標を水平方向および垂直方向に新たなシフト量 X だけシフトさせて、該画像データを第2の左側画像メモリ262に書込む。以降、相関値 δs が所定値以下になるまで以上の動作を繰り返す。相関値 δs が所定値以下になったのち、合成処理回路（不図示）で、第2の左側画像メモリ262と右側画像メモリ232_Rとからそれぞれ出力される画像データを合成することにより、高精細な合成画像信号を得ることができる。

【0104】ここで、相関演算処理部271における相関演算時間を短縮するために、たとえば、画面中央部の画像データのみを用いて相関演算を行ってもよい。また、相関演算の手法としては、一般に用いられているマッチング法および勾配法などを用いればよい。

【0105】最終的に得られるシフト量 X_0 は画像のレジストレーションのずれ量 Δa を示しているため、最終的に得られたシフト量 X_0 に応じた補正信号を相関演算処理部271で演算し、第6乃至第8の実施例で示した各補正制御方法、すなわち、

(1) 輻輳角の補正制御

(2) 各イメージセンサを水平方向、垂直方向にシフトし得る駆動系を用いた補正駆動制御

(3) 電子ビームの走査軌跡変更の補正制御を行うこともできる。

【0106】以上説明した、図23に示した第10の実施例の複眼撮像装置は、左側撮像系10_Lおよび右側撮像系10_Rからそれぞれ出力される画像信号を用いて、輻輳角の誤差による画像のレジストレーションのずれ量 Δa を補正制御するものである。しかし、左側撮像系10_Lおよび右側撮像系10_Rからそれぞれ出力される画像信号を用いて、左側撮像光学系11_Lおよび右側撮像光学系11_Rの結像倍率の差による画像のレジストレーションのずれ量を補正制御することもできる本発明の複眼撮像装置の実施例について、以下説明する。

【0107】図24は、本発明の複眼撮像装置の第11の実施例を示す、倍率相関演算処理部の動作を説明するためのブロック図である。

【0108】本実施例の複眼撮像装置は、倍率相関演算処理部281と演算処理部282と第3の左側画像メモリ283とをさらに含む点で、図23に示した第10の実施例の複眼撮像装置と異なる。

【0109】次に、本実施例の複眼撮像装置の動作について説明する。

【0110】図23に示した第10の実施例の複眼撮像装置と同様にして、左側撮像系10_Lおよび右側撮像系10_Rで得られる画像の中心位置のレジストレーションは一致されているものとする。

【0111】演算処理部282は、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データの座標に画面中心からの距離に比例した定数 k を掛けて座標変換したのち、該画像データを第3の左側画像メモリ283に書込む。倍率相関演算処理部281は、第3の左側画像メモリ283から出力される画像データと右側画像メモリ232_Rから出力される画像データと相関演算を行って相関値 δs を求め、相関値 δs が所定値以上である場合には、相関値 δs が所定値以下となるように新たな定数 k を演算して演算処理部282に出力する。演算処理部282は、左側画像メモリ232_Lから出力される画像データの座標に新たな定数 k を掛けて座標変換したのち、該画像データを第3の左側画像メモリ283に書込む。以降、相関値 δs が所定値以下になるまで以上の動作を繰り返す。相関値 δs が所定値以下になったのち、合成処理回路（不図示）で、第2の左側画像メモリ262と右側画像メモリ232_Rとからそれぞれ出力される画像データを合成することにより、左側撮像光学系11_Lおよび右側撮像光学系11_Rの結像倍率の差による画像のレジストレーションのずれ量も補正制御した高精細な合成画像信号を得ることができる。

【0112】なお、最終的に得られる定数 k_0 は左側撮像光学系11_Lおよび右側撮像光学系11_Rの結像倍率の比を示しているため、最終的に得られた定数 k_0 に応じた補正信号を倍率相関演算処理部281で演算し、第

6乃至第8の実施例で示した各補正制御方法を行うこともできる。

【0113】倍率相関演算処理部281における相関演算時間を短縮するために、図25に示すように、被写体面2上の点Oを通り、2つの光軸 L_L 、 L_R を含む平面に垂直な線 $Y-Y'$ を中心とした図示斜線で示す領域（水平方向の処理部分を狭めた領域）の画像信号のみを用いて、相関演算を行ってもよい。なお、この領域は、左側撮像光学系11 L および右側撮像光学系11 R の配置条件から対称性があり、画像歪みが共通となるため、結像倍率の差が求めやすい。

【0114】また、倍率相関演算処理部281における相関演算時間を短縮するために、図26に示すように、被写体面2上の点Oを通り、2つの光軸 L_L 、 L_R を含む平面に垂直な線 $Y-Y'$ を中心とした、点Oから離れた上下2つの図示斜線で示す領域の画像信号のみを用いて、垂直方向の位置ずれ相関を第9の実施例で説明した手法により求め、前記各領域の代表点をQ、Rとし、この代表点Q、Rの左側イメージセンサ12 L 上の像 Q_L' 、 R_L' および右側イメージセンサ12 R 上の像 Q_R' 、 R_R' としたときの線 $Q_L'-R_L'$ の長さとの線 $Q_R'-R_R'$ の長さとの比を演算することにより、最終的な定数 k_0 を求めてもよい。この手法は、結像倍率の差が画面の周辺ほど検出感度が高くとれることと、微小領域では結像倍率の差は位置ずれとみなせることを利用したものである。

【0115】以上のようにして最終的な定数 k_0 を求め、この定数 k_0 に基づき次のような補正制御が行える。

(1) 各ズームモータ25 L 、25 R がそれぞれ、結像倍率のずれによる画像のレジストレーションのずれ量を所定値（許容値）以下に補正するために必要な応答特性を有する場合には、ズームモータ25 L およびズームモータ25 R の一方または両方に補正信号を与えてサーボする。

(2) 各ズームモータ25 L 、25 R がそれぞれ、不感帯などの影響で、補正するために必要な応答特性を得ることが困難な場合には、電子ビームの走査軌跡変更の補正制御または画像メモリの座標変換の補正制御が適している。このとき、画像データの補間演算処理も必要に応じて行ってもよい。

【0116】以上説明した本発明の複眼撮像装置の各実施例では、二つの撮像系により構成された場合について述べたが、四つ以上の撮像系を用いた場合も同様に適用できることは明らかである。

【0117】

【発明の効果】本発明は、上述のとおり構成されているので、次の効果を奏する。

【0118】請求項1乃至請求項4記載の発明は、各撮像系で得られる画像にそれぞれ生じる台形歪を補正する

台形歪補正手段を含むことにより、各撮像系で得られる画像が台形歪を有しても、台形歪を除去して所望の画像にそれぞれ変換することができるため、台形歪のない高精細な画像を得ることができる。

【0119】請求項5記載の発明は、各撮像系で得られる画像のレジストレーションのずれ量を検出する検出手段と、検出手段で検出されたレジストレーションのずれ量が所定値以下になるよう、少なくとも機構系または画像処理系を制御する制御手段とを含むことにより、各撮像系で得られる画像のレジストレーションを一致させて画像合成することができるため、複数の撮像系を用いて共通の被写体を撮像することにより高精細な画像を得ることができる具体的な複眼撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の複眼撮像装置の第1の実施例を示す概略構成図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す構成図、(B)は台形歪補正信号生成部の動作を説明するためのブロック図である。

【図2】図1に示した各台形歪補正信号生成部において台形歪を補正する原理を説明するための説明図である。

【図3】図1に示した各台形歪補正信号生成部において台形歪を補正する原理を説明するための説明図である。

【図4】図1に示した各台形歪補正信号生成部において台形歪を補正する原理を説明するための説明図である。

【図5】図1に示した各撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバの動作を説明するための説明図である。

【図6】本発明の複眼撮像装置の第2の実施例における左側撮像系および右側撮像系構成を示す図である。

【図7】本発明の複眼撮像装置の第2の実施例における各補正変換部の動作を説明するためのブロック図である。

【図8】本発明の複眼撮像装置の第3の実施例における左側撮像系および右側撮像系の構成を示す図である。

【図9】図8に示した各補正光学系の動作を説明するためのブロック図である。

【図10】図8に示した各補正光学系において台形歪を補正する原理を説明するための説明図である。

【図11】図8に示した各補正光学系において台形歪を補正する原理を説明するための説明図である。

【図12】図8に示した各補正光学系において台形歪を補正する原理を説明するための説明図である。

【図13】本発明の複眼撮像装置の第4の実施例を示す概略構成図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す構成図、(B)は台形歪の補正方法を説明するためのブロック図である。

【図14】図13に示した台形歪変換部および減算処理回路の動作を説明するための説明図である。

【図15】画像差と傾斜角（変換変数）との関係の一例を示すグラフである。

【図16】本発明の複眼撮像装置の第5の実施例を示す概略構成図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す構成図、(B)は台形歪の補正方法を説明するためのブロック図である。

【図17】本発明の複眼撮像装置の第6の実施例を示す図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す概略構成図であり、(B)は制御部の動作を説明するためのブロック図であり、(C)は画像の合成動作を説明するためのブロック図である。

【図18】本発明の複眼撮像装置の第6の実施例における撮像系の基本配置を説明するための説明図である。

【図19】図17に示した各輻輳角モータの応答特性を説明するための図である。

【図20】本発明の複眼撮像装置の第7の実施例を示す図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す概略構成図であり、(B)は演算制御部の動作を説明するためのブロック図である。

【図21】本発明の複眼撮像装置の第8の実施例を示す図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す概略構成図であり、(B)は演算制御部の動作を説明するためのブロック図である。

【図22】本発明の複眼撮像装置の第9の実施例を示す図であり、(A)は左側撮像系および右側撮像系の構成を示す概略構成図であり、(B)は演算制御部の動作を説明するためのブロック図である。

【図23】本発明の複眼撮像装置の第10の実施例を示す、相関演算処理部の動作を説明するためのブロック図である。

【図24】本発明の複眼撮像装置の第11の実施例を示す、倍率相関演算処理部の動作を説明するためのブロック図である。

【図25】図24に示した倍率相関演算処理部における相関演算時間を短縮する一手法を説明するための説明図である。

【図26】図24に示した倍率相関演算処理部における相関演算時間を短縮する他の手法を説明するための説明図である。

【図27】二つの撮像系を用いて共通の被写体を撮像して得られる二つの画像を合成することにより高精細な一つの画像を得る複眼撮像装置の原理を説明するための図である。

【図28】図27に示した左側撮像系および右側撮像系の基本配置を説明するための説明図である。

【図29】図27に示した左側イメージセンサで得られる画像および右側イメージセンサで得られる画像に発生する台形歪を説明するための説明図である。

【符号の説明】

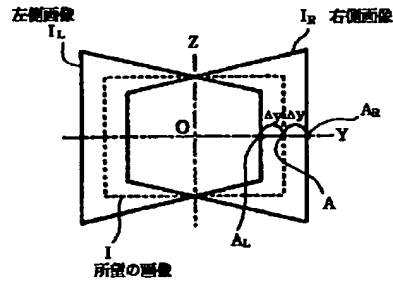
- 2 被写体面
- 3 共役被写体面
- 10L 左側撮像系

- 10R 右側撮像系
- 11L 左側撮像光学系
- 11R 右側撮像光学系
- 12L 左側イメージセンサ
- 12R 右側イメージセンサ
- 21L, 21R, 23L, 23R レンズ群
- 22L, 22R 変倍群
- 24L, 24R 合焦群
- 25L, 25R ズームモータ
- 26L, 26R フォーカスモータ
- 27L, 27R 輻輳角モータ
- 28L, 28R 回転角検出手段
- 31L, 31R 撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ
- 32L, 32R 台形歪補正信号生成部
- 38 合成処理部
- 40 高精細モニタ
- 41L, 41R ズームエンコーダ
- 42L, 42R フォーカスエンコーダ
- 51L, 72L 左側画像メモリ
- 51R, 72R 右側画像メモリ
- 52L, 52R 補正変換部
- 61L, 61R 補正光学系
- 62R 凹レンズ
- 63R 凸レンズ
- 71 台形歪変換部
- 73 相関演算処理部
- 74L 第2の左側画像メモリ
- 74R 第2の右側画像メモリ
- 75 減算処理回路
- 231 制御部
- 232L 左側画像メモリ
- 232R 右側画像メモリ
- 233 合成処理回路
- 243L, 243R 水平方向駆動系
- 244 演算制御部
- 251L, 251R 撮像管電子ビーム走査軌跡制御ドライバ
- 261 補正変換部
- 262 第2の左側画像メモリ
- 271 相関演算処理部
- 281 結像相関演算処理部
- 282 演算処理部
- 283 第3の左側画像メモリ
- A, AL, AR, A1~A4, a1~a4, B1~B4, b1~b4, O, O', P0, P1, Q, R 点
- IL 左側画像
- IR 右側画像
- I 所望の画像
- LL, LR 光軸

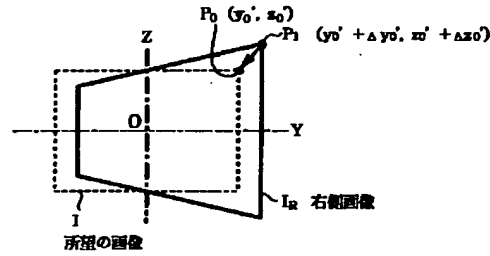
Q_1 交点
 Y, Z 軸
 $\Delta y, \Delta y_0'$ ずれ量
 y_0, y_1 物高
 y_0', y_1' 像高
 S_0' 距離
 θ 傾斜角

2θ 輻輳角
 δ_s 画像差
 Q_L', R_L', Q_R', R_R' 像
 X シフト量
 k 定数
 $\Delta\theta_L, \Delta\theta_R$ 角度偏差
 δ_s 相関値

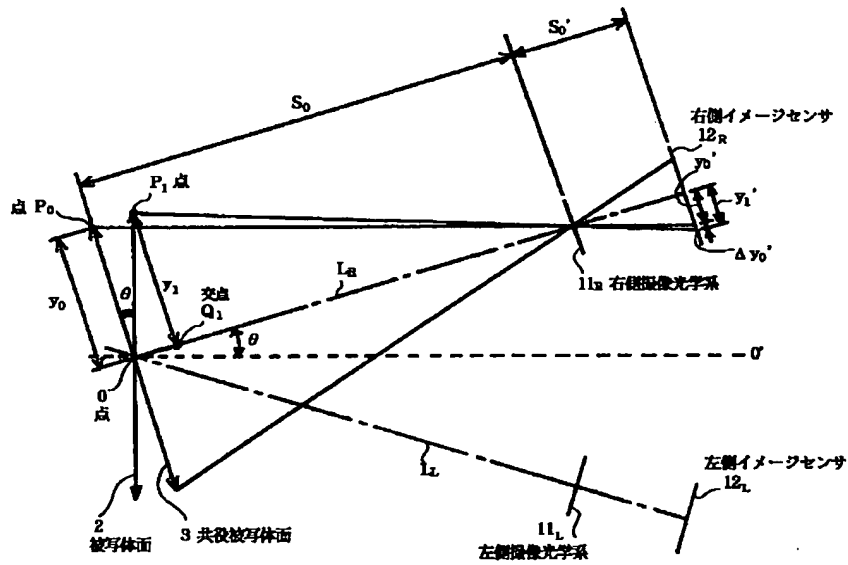
【図2】



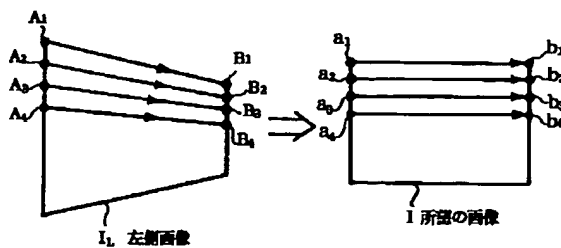
【図3】



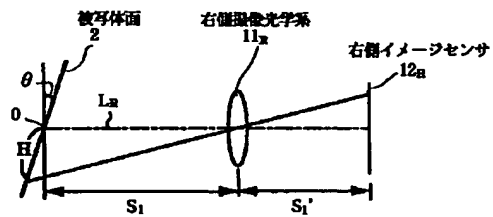
【図4】



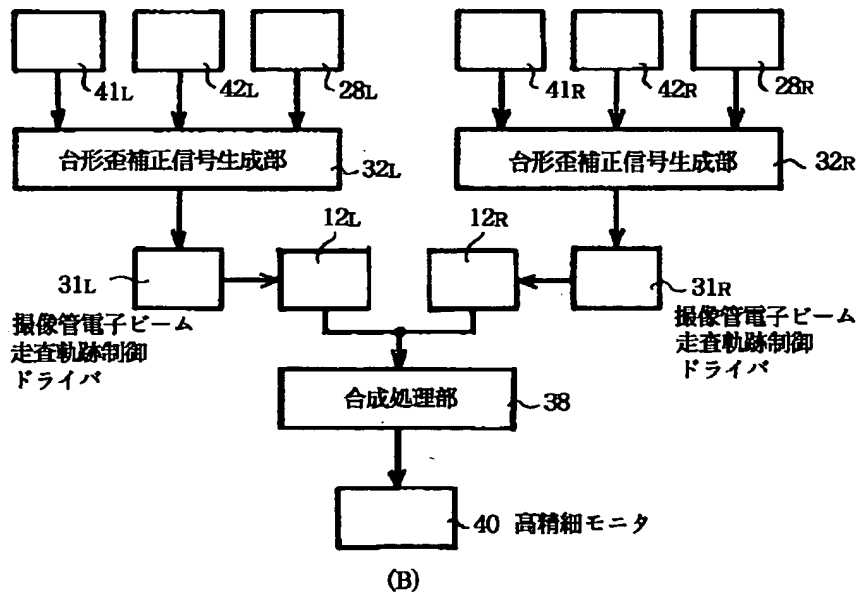
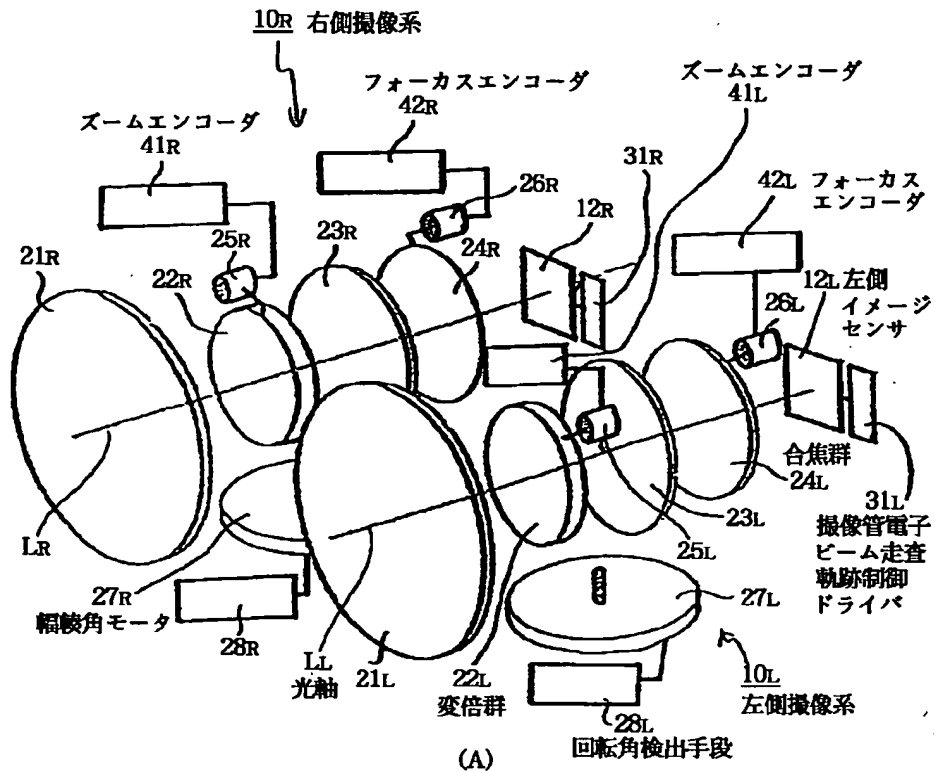
【図5】



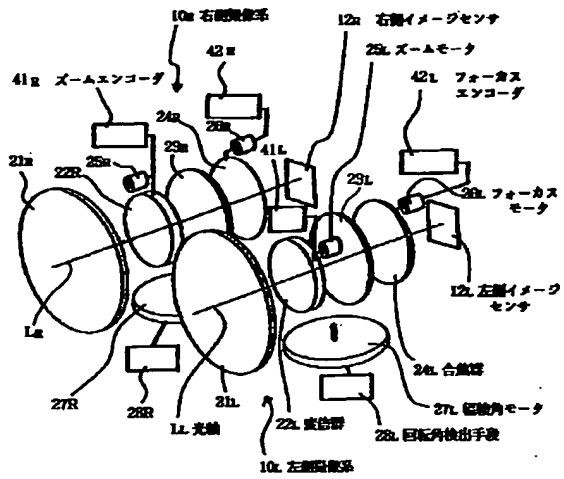
【図10】



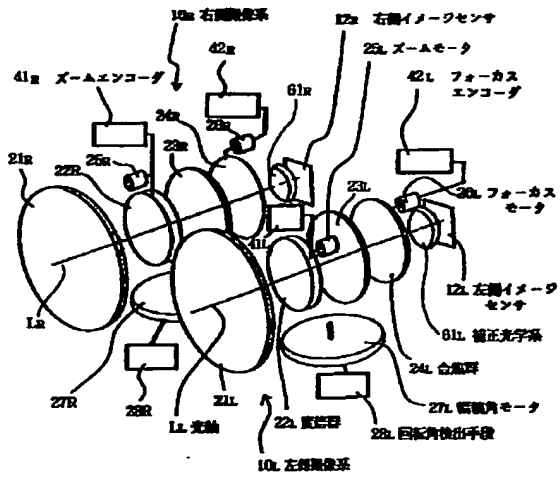
【図1】



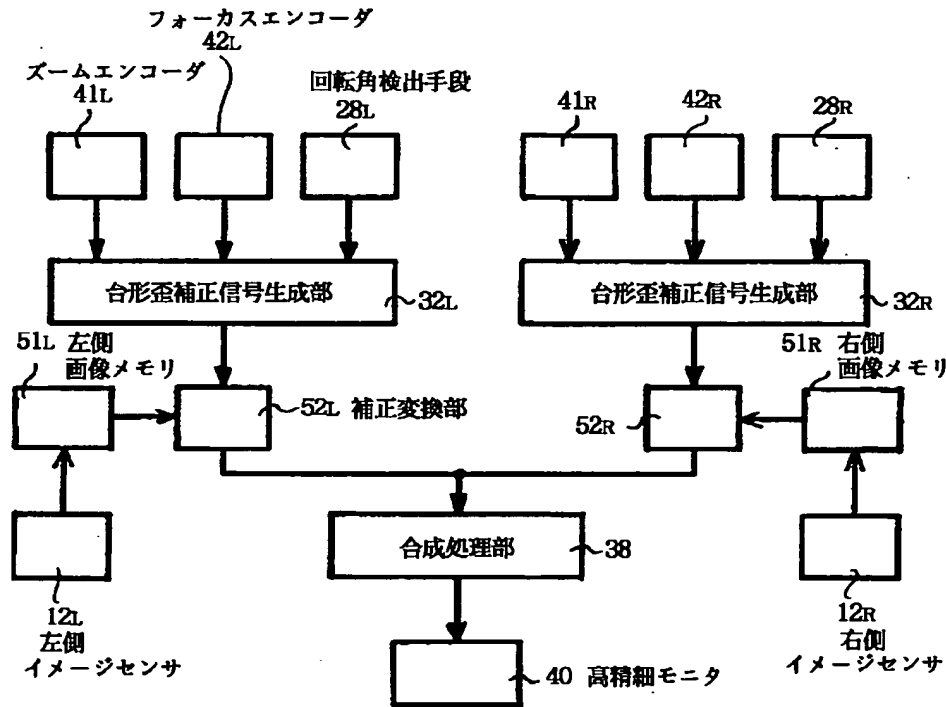
【図6】



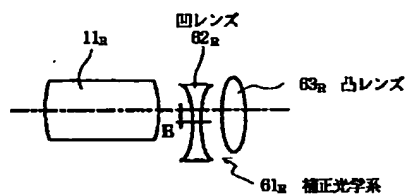
【図8】



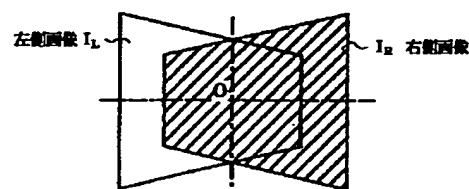
【図7】



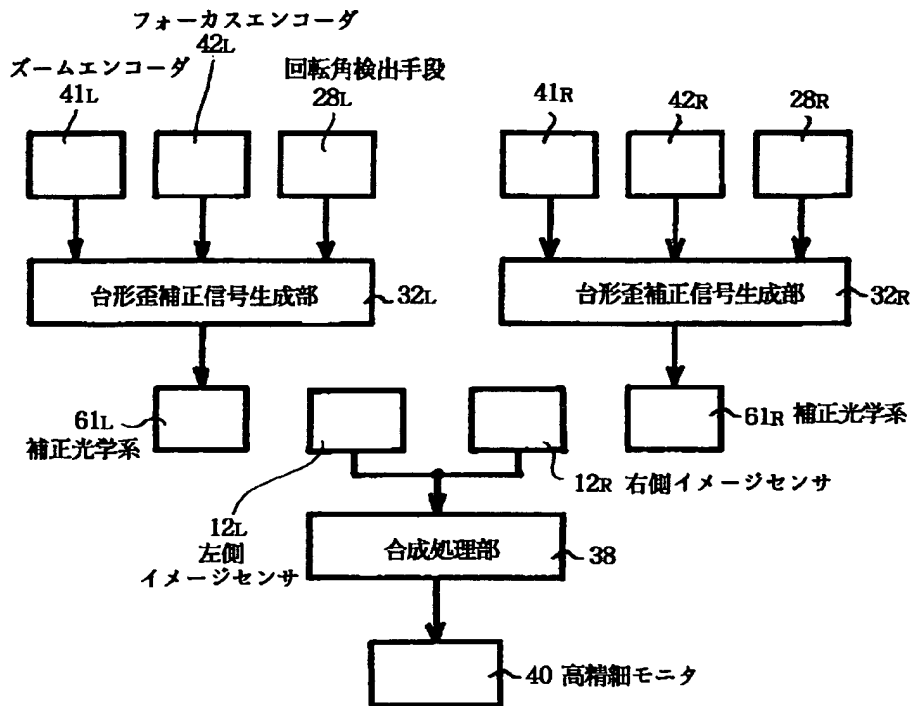
【図11】



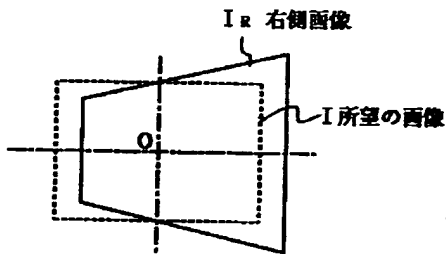
【図29】



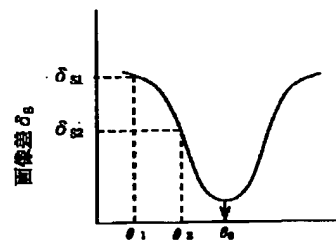
【図9】



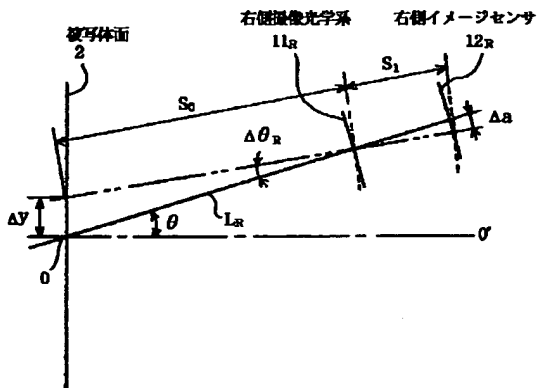
【図12】



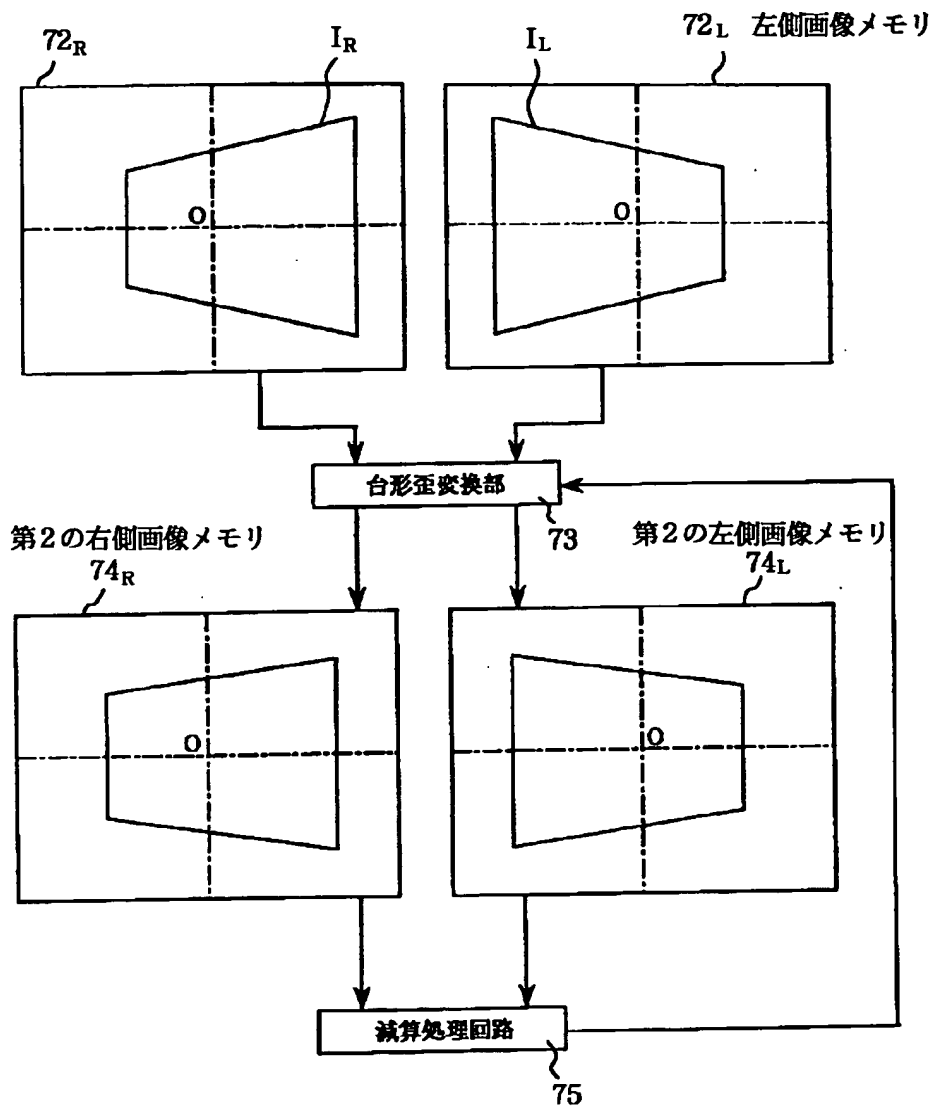
【図15】



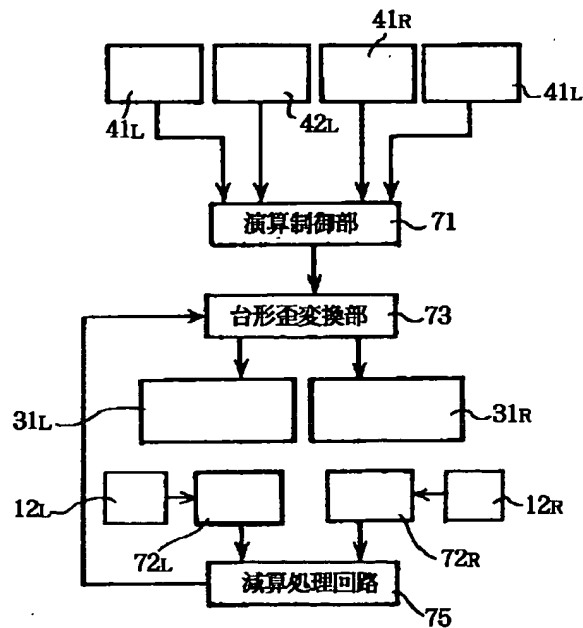
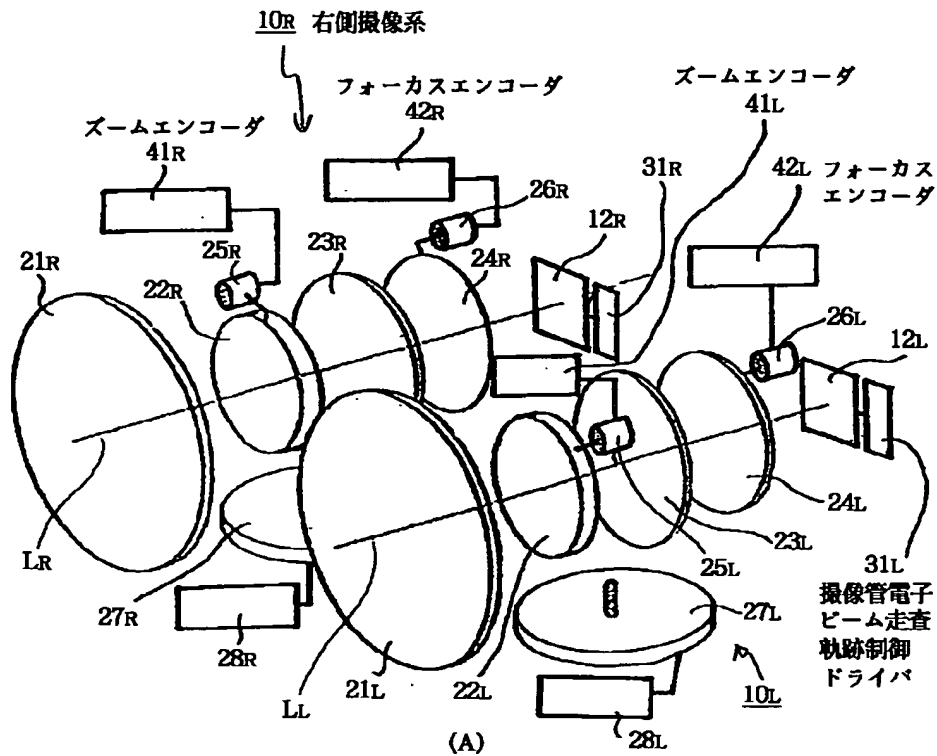
【図19】



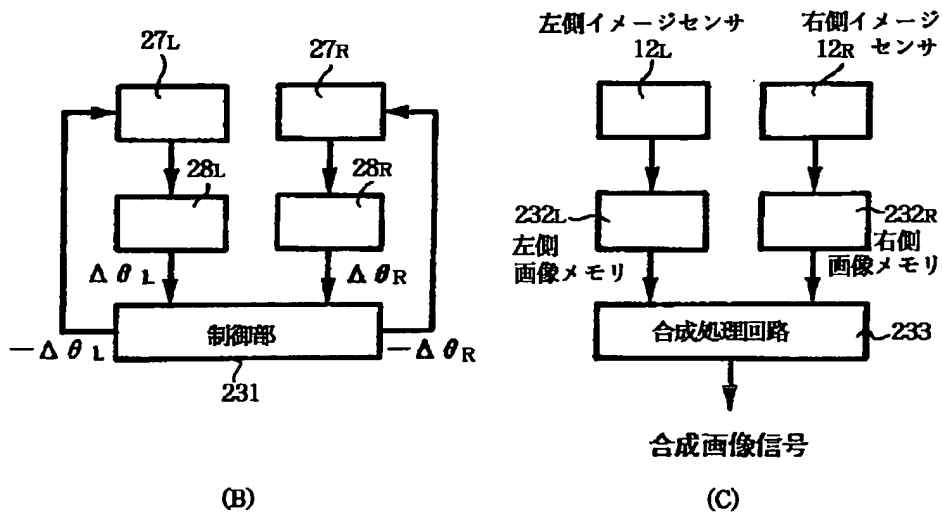
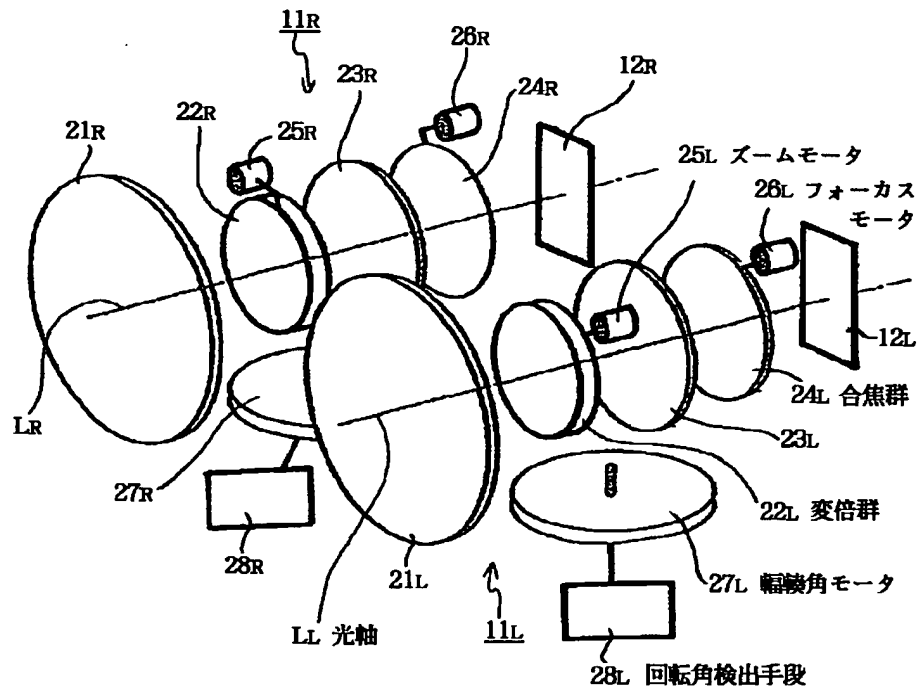
【図14】



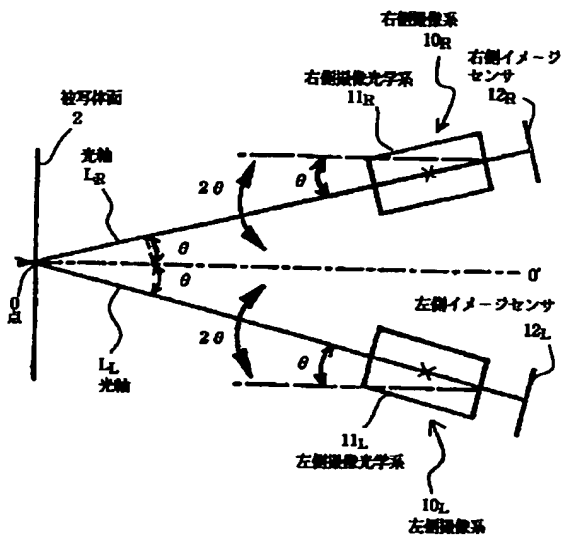
【図16】



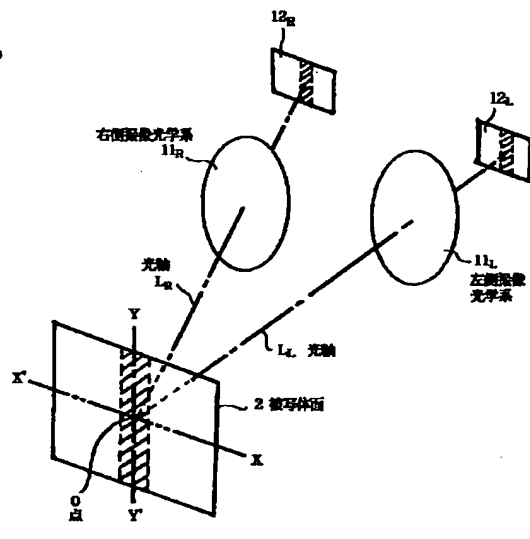
【図17】



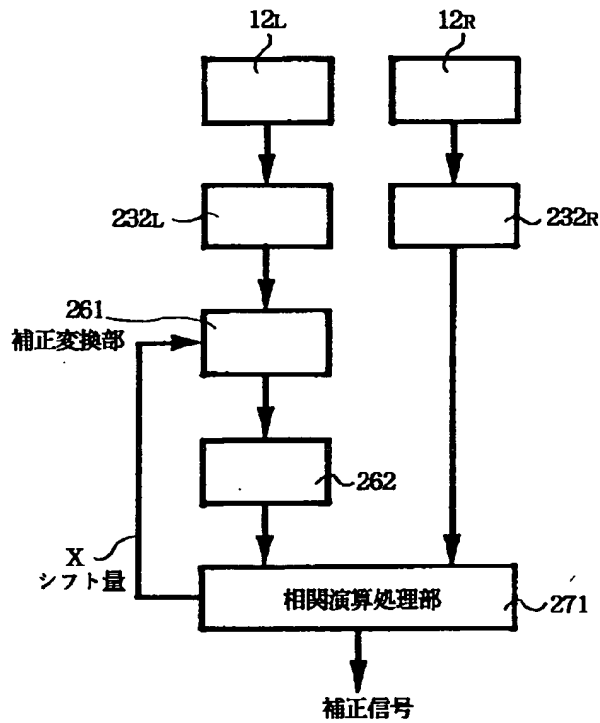
【図18】



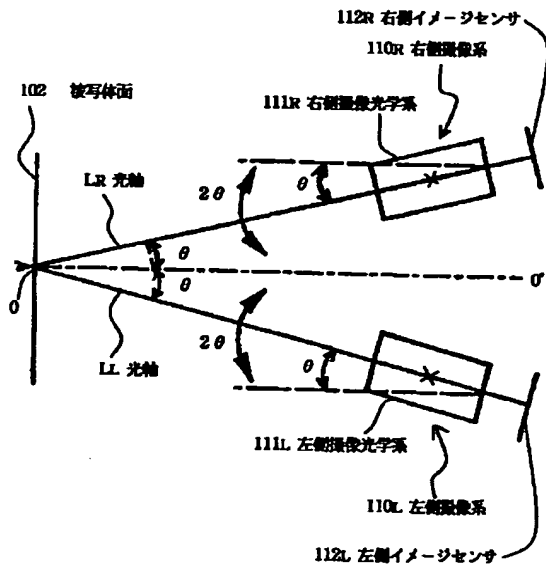
【図25】



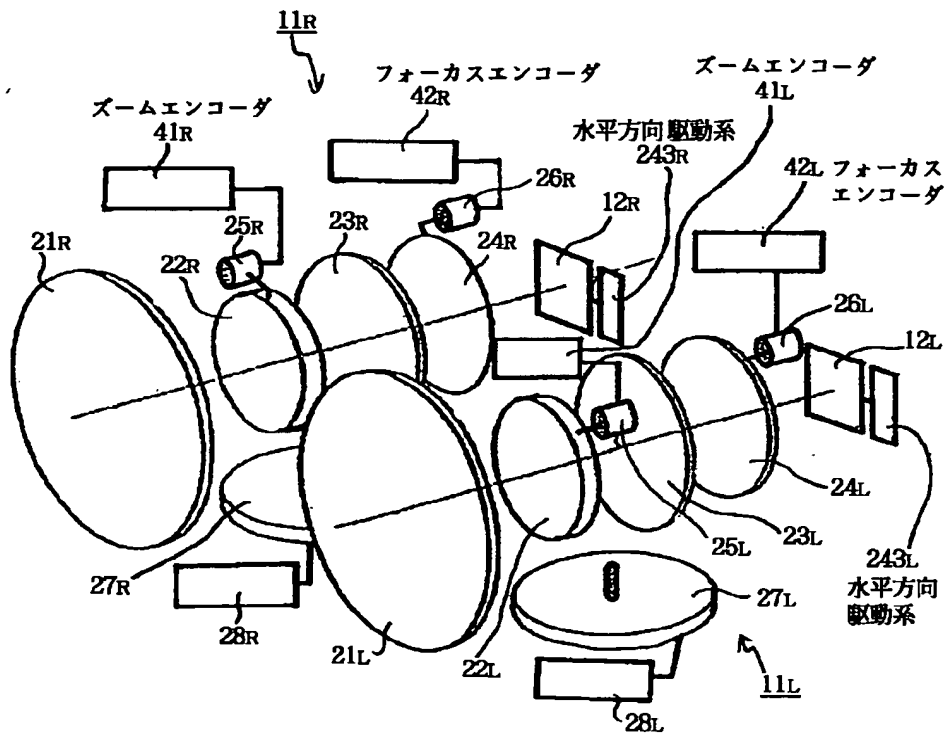
【図23】



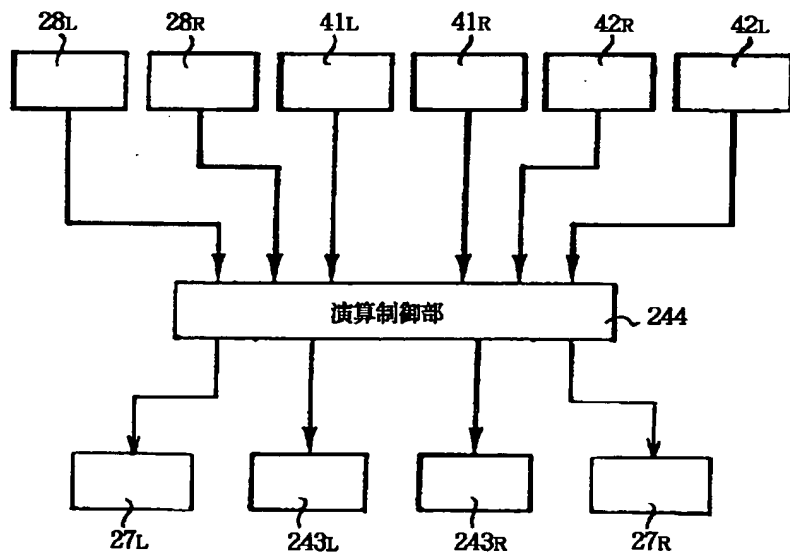
【図28】



【図20】

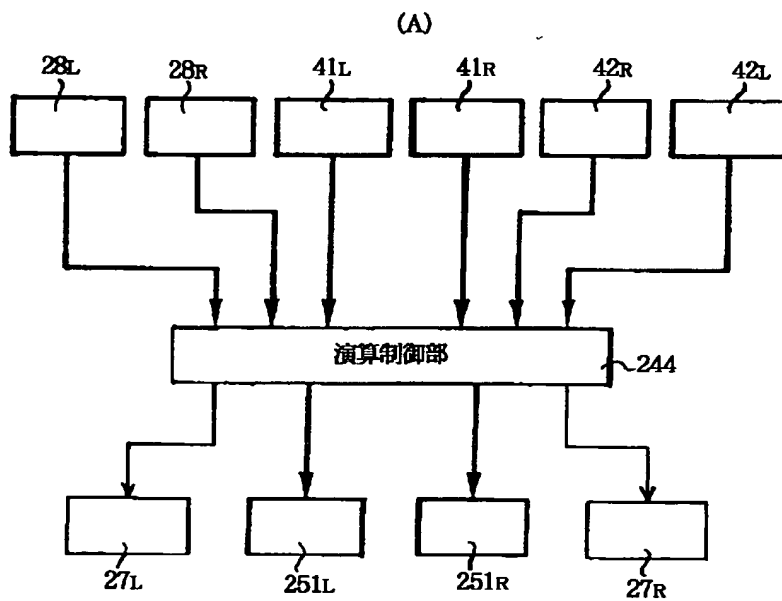
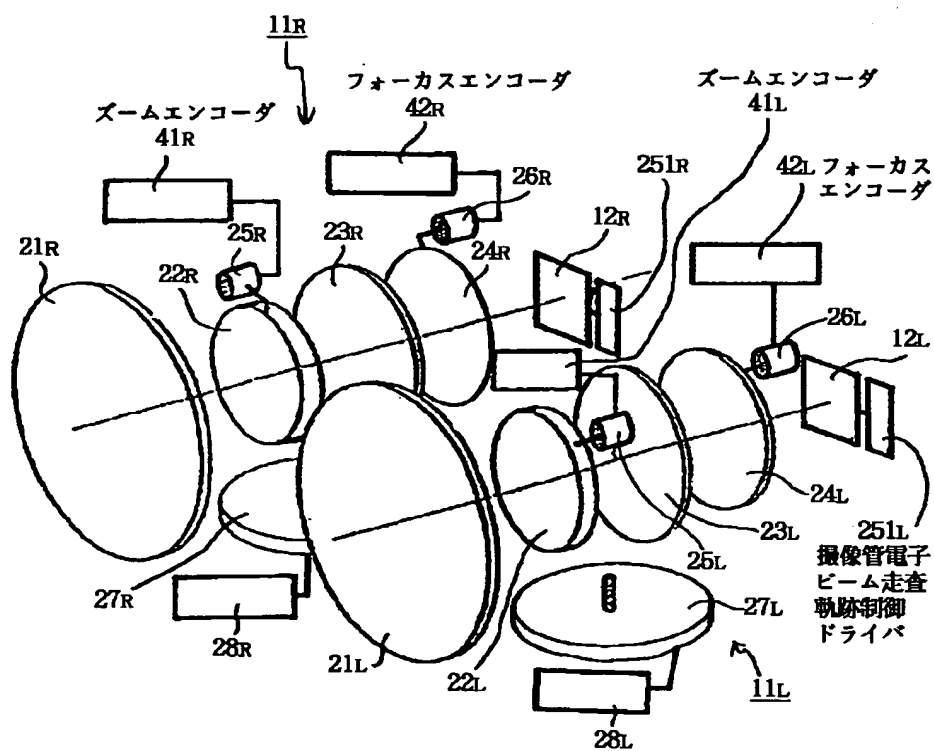


(A)

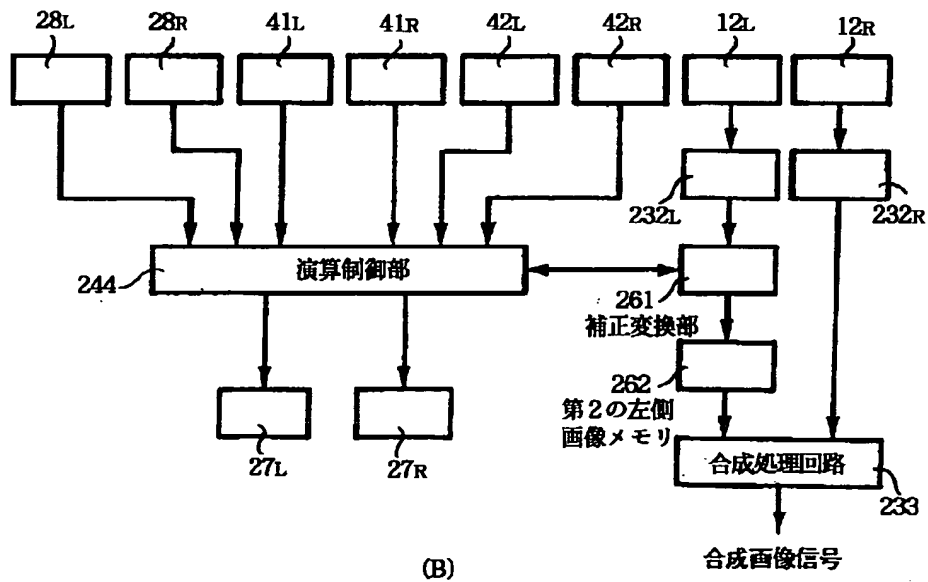
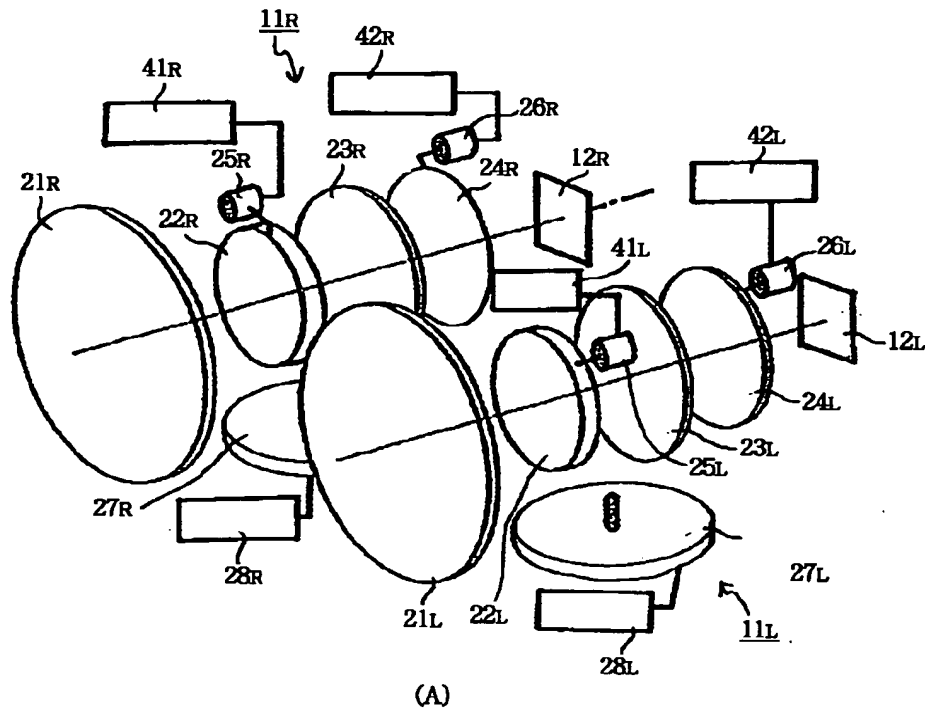


(B)

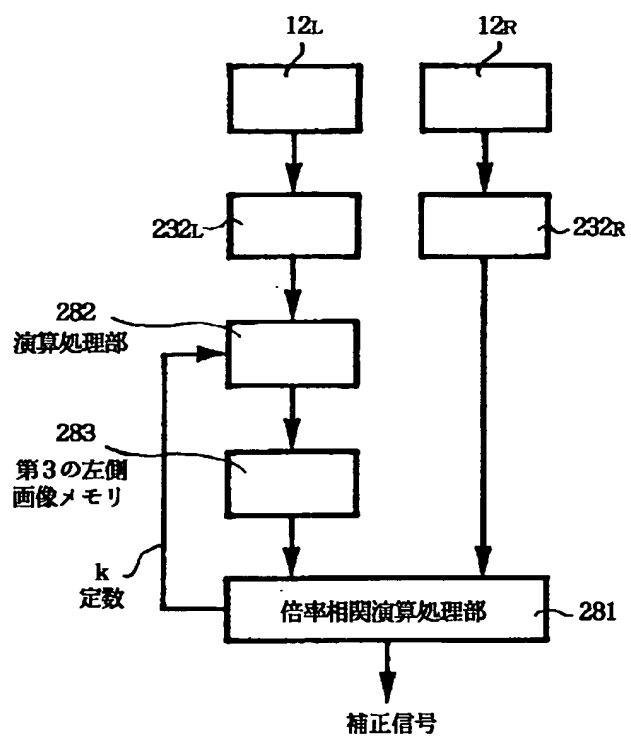
【図21】



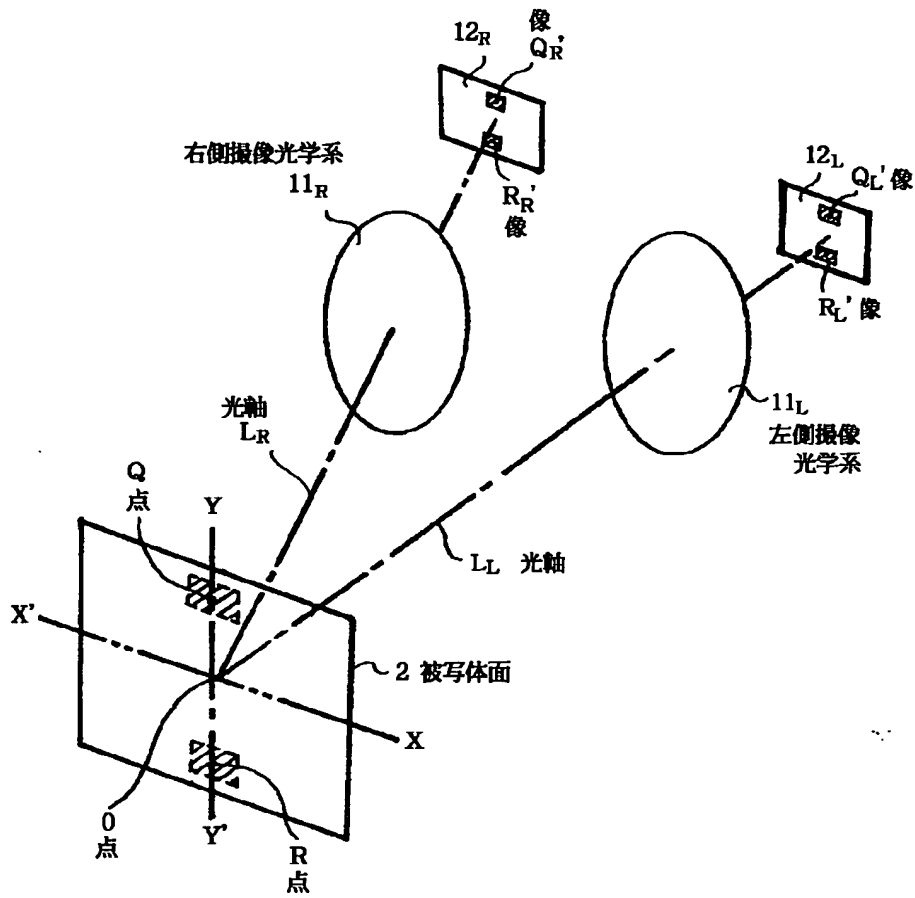
【図22】



【図24】



【図26】



【図27】

